

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

“Diagnóstico de la calidad del agua de la laguna recreacional del Parque Infantil “Marco Romero Heredia”, ubicada en Azogues - Provincia del Cañar”

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES:

Luis Antonio Ortega Peñafiel

CI. 030230270 - 8

Ana Carolina Pesántez Serrano

CI. 030192750 - 5

DIRECTOR:

Dra. M. Sc. Gladys Guillermina Pauta Calle

CI. 030069104-5

CUENCA – ECUADOR

ENERO 2018



Resumen

En el presente trabajo de titulación, se analiza y diagnostica la calidad de agua de la laguna del Parque Infantil Marco Romero Heredia, del cantón Azogues, según los criterios de la normativa TULSMA para aguas de uso recreativo por contacto secundario. Se establece el estado trófico de la laguna mediante los índices de Carlson y OCDE; se determina el flujo preferencial en la laguna mediante un modelo bidimensional, finalmente, se presentan alternativas de tratamiento y mantenimiento.

Se realizaron 7 campañas de monitoreo entre marzo de 2017 y enero de 2018. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca; los resultados se compararon con los establecidos en la normativa nombrada y se determinó el estado trófico. Según los análisis, la calidad de la laguna cumple con algunos parámetros, como: porcentaje de saturación de oxígeno, ausencia de grasas y aceites, agentes tensoactivos, y niveles de pH; pero no se satisfacen otros, como: relación fósforo/nitrógeno, material flotante y número de bacterias coliformes. Los índices indican un estado trófico avanzado. El modelo de flujo bidimensional indicó que las velocidades presentes en la laguna son muy bajas, además, existiendo zonas donde la velocidad es cero, generándose así zonas muertas de flujo.

Finalmente, se presentan recomendaciones para mejorar y mantener una mejor calidad de agua en la laguna, así como un tratamiento periódico de desinfección para evitar que se vuelvan a generar problemas de eutrofización, mejorando sustancialmente la estética de la laguna.

Palabras claves: calidad de agua, agua recreacional, contacto secundario, TULSMA, estado trófico, índices de eutrofización, modelo bidimensional de flujo.



Abstract

In the following academic essay, water quality from the artificial lagoon of the recreational park “Marco Romero Heredia” it is analyzed and diagnosed, according to the TULSMA regulation for water designated for secondary contact recreation. The trophic state is set through two indexes: OCDE and Carlson; the flow is determined by a bi-dimensional model; finally, treatment and maintenance alternative are presented.

Seven monitoring campaigns were performed between March of 2017 and January of 2018. The samples were taken to the Universidad de Cuenca’s sanitary laboratory for their respective analyses; the obtained results were compared with the parameters set by TULSMA regulation and the trophic state was obtained. According to this regulation, the water satisfies some standards, such as: dissolved oxygen saturation percentage, absence of greases and oils, surfactant agents, and pH levels; but others are not accomplished, such as: phosphorus/nitrogen relation, floating material, and coliform bacteria (in some measuring stations). The two indexes indicate an advanced level of trophy. Additionally. The bi-dimensional model generated showed that the velocities in the lagoon are too slow, besides in some zones the velocity is zero, because of this, there are static flow zones.

At least, recommendations are presented to improve and maintain a good water quality in the lagoon, as well as a periodic disinfection treatment that can be implemented to avoid eutrophication problems again, improving substantially the aesthetic of this lagoon.

Keywords: *water quality, recreational water, secondary contact, TULSMA, trophic state index, bi-dimensional flow model.*



Contenido

Resumen	1
Lista de Tablas	3
Lista de Ilustraciones	10
Lista de Fotografías	12
Abreviaturas y Simbología	14
1. INTRODUCCIÓN	23
1.1 Objetivos	23
1.1.1 Objetivo General	23
1.2 Justificación	23
1.3 Alcance	24
2. MARCO CONCEPTUAL.....	25
2.1 Calidad de agua	25
2.1.1 Deterioro de la calidad de agua	25
2.2 Variables y parámetros a considerar en el estudio de la calidad del agua	26
2.2.1 Parámetros físicos	26
2.2.2 Parámetros químicos	27
2.2.3 Parámetros microbiológicos del agua	29
2.3 Calidad de agua para fines recreativos	29
2.4 Enfermedades relacionadas con el agua recreativa	30
2.4.1 Enfermedades gastrointestinales	31
2.4.2 Enfermedades no gastrointestinales.....	31
2.5 Eutrofización en cuerpos lagunares	32
2.6 Sedimentos	34
2.6.1 Granulometría de sedimentos.....	34
2.7 Características hidráulicas de cuerpos lagunares.....	34
2.8 Normativa de referencia	35
2.8.1 Calidad de agua	35



2.8.2 Estado Trófico de una Laguna	38
2.9 Modelación de flujos de agua	39
2.9.1 Modelos bidimensionales para flujos de agua	39
2.9.2 <i>Software</i> de modelación hidráulico Iber	40
3. MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1 Descripción de la zona de estudio	40
3.2 Características de la laguna	41
3.3 Mantenimiento de la laguna	47
3.4 Muestras y campañas de monitoreo	49
3.4.1 Aspectos generales del muestreo	49
3.4.2 Estaciones de Muestreo	49
3.4.3 Campañas de monitoreo	50
3.5 Medición de caudales	52
3.5.1 Método volumétrico	52
3.5.2 Método de velocidad/superficie	52
3.6 Topografías y batimetrías	53
3.7 Vaciado de laguna	56
3.8 Altura de sedimentos	56
3.9 Análisis químico de los sedimentos	57
3.10 Análisis granulométrico de los sedimentos	57
3.11 Determinación del estado trófico	59
3.11.1 Estimación de transparencia de la columna de agua	59
3.11.2 Índice de La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE)	60
3.11.3 Índice de Carlson	60
3.12 Análisis bidimensional de flujos	61
4. RESULTADOS	62
4.1 Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos	62



4.2 Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua cruda	72
4.3 Comparación con la normativa TULSMA	74
4.3.1 Comparación antes del vaciado de la laguna	74
4.3.2 Comparación luego del vaciado de la laguna	79
4.4 Estado trófico de la laguna	80
4.4.1 Índice de estado trófico OCDE	80
4.4.2 Índice de estado trófico de Carlson	81
4.5 Análisis de los sedimentos	83
4.5.1 Análisis granulométrico	83
4.5.2 Análisis químico	84
4.5.3 Volumen sedimentos acumulado en la laguna	84
4.6 Topografía y batimetría	85
4.7 Características hidráulicas	88
4.7.1 Caudal de ingreso	88
4.7.2 Caudal de salida	88
4.8 Modelo bidimensional de flujo en la laguna	89
5. DISCUSIÓN	90
5.1 Parámetros químicos y bacteriológicos de las campañas 1 al 6	90
5.2 Parámetros químicos y bacteriológicos de la campaña 7	99
5.3 Correlación entre parámetros	101
5.4 Agua cruda	101
5.5 Comparación con la normativa TULSMA	102
5.6 Estado trófico de la laguna	104
5.7 Sedimentos	104
5.8 Topografía y batimetría	105
5.1.9 Características hidráulicas	105
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
6.1 Conclusiones	109



6.2 Recomendaciones	110
7. BIBLIOGRAFÍA	113
8. Anexos.....	117
Anexo 1. Tiempos aforados para el cálculo del caudal de ingreso durante las siete campañas de monitoreo.....	117
Anexo 2. Valores utilizados para el cálculo del Disco de Secchi, para la clasificación del estado trófico de la laguna en cada estación de aforo.....	118
Anexo 3. Fotografías durante el vaciado de la laguna.	121
Anexo 4. Medidas de las Alturas de lodo presentes en la laguna.....	125
Anexo 5. Granulometría del sedimento mediante el método del hidrómetro.....	126
Anexo 6. Resultados del análisis de las muestras tomadas durante las siete campañas de monitoreo entregadas por el Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Cuenca.....	127
Anexo 7. Imágenes de llenado de la laguna luego del mantenimiento brindado.....	137
Anexo 8. Imágenes de la conducción del ojo de agua hacia la tubería que llega a la laguna.	139
Anexo 9. Porcentajes acumulados para la obtención de la curva granulométrica con el método del hidrómetro.	140
Anexo 10. Hoja de cálculo del oxígeno de saturación.....	141



Lista de Tablas

<i>Tabla 1: Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 2 Parámetros de calidad de agua para uso recreativo de contacto secundario.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 3: Valores límites del índice OCDE para un sistema completo de clasificación trófica</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 4 Valores límites del Índice IET para la clasificación trófica</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 5 Características de la laguna del Parque Infantil Marco Romero Heredia</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 6 Descripción de las tuberías conectadas al pozo de revisión.</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 7 Estaciones de muestreo dentro de la laguna.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 8 Recursos utilizados para toma de muestras.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 9 Rangos, precisión y resolución de la sonda EXO-2 (“YSI EXO2”, 2017).</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 10 Profundidades a las que se tomaron las mediciones in situ.</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 11 Parámetros físicos de la muestra de agua cruda.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 12 Parámetros químicos de la muestra de agua cruda.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 13 Parámetros bacteriológicos de la muestra de agua cruda.</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 14 Resultados del análisis bacteriológico del agua cruda.</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 15 Parámetros para la determinación de cumplimiento de la calidad de agua en la primera estación.</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 16 Cumplimiento de la calidad de agua según normativa TULSMA en la primera estación.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 17 Parámetros para la determinación de cumplimiento de la calidad de agua en la segunda estación.</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 18 Cumplimiento de la calidad de agua según normativa TULSMA en la segunda estación.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 19 Parámetros para la determinación de cumplimiento de la calidad de agua en la tercera estación.</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 20 Cumplimiento de la calidad de agua según normativa TULSMA en la tercera estación.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 21 Parámetros para la determinación de cumplimiento de la calidad de agua en la cuarta estación.</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 22 Cumplimiento de la calidad de agua según normativa TULSMA en la cuarta estación.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 23 Parámetros para la determinación de cumplimiento de la calidad de agua en la quinta estación.....</i>	<i>78</i>



<i>Tabla 24 Cumplimiento de la calidad de agua según normativa TULSMA en la quinta estación.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 25 Parámetros para la determinación de cumplimiento de la calidad de agua en la primera estación.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 26 Cumplimiento de la calidad de agua según normativa TULSMA en la primera estación.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 27 Parámetros para la determinación de cumplimiento de la calidad de agua en la quinta estación.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 28 Cumplimiento de la calidad de agua según normativa TULSMA en la quinta estación.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 29 Estado trófico de las diferentes estaciones según el índice de la OCDE.</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 30 Valores numéricos de los índices de estado trófico de Carlson en las diferentes estaciones.</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 31 Estado trófico de las diferentes estaciones de la laguna según el índice de Carlson.</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 32 Contenido de humedad y gravedad específica del sedimento.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 33 Porcentaje de sólidos y humedad en las muestras de sedimento.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 34 Porcentaje de sólidos orgánicos e inorgánicos de las muestras de sedimento. ...</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 35 Residuos de los sólidos inorgánicos eliminados a 850° C.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 36 Compuestos químicos presentes en los sólidos inorgánicos del sedimento.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 37 Altura promedio, máxima y mínima del sedimento.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 38 Resumen de profundidades de agua en la laguna.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 39 Caudal de ingreso a la laguna durante las siete campañas de monitoreo</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 40 Caudal de salida de la laguna durante las siete campañas de monitoreo.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 41 Valores de coeficiente R de Pearson de correlaciones entre clorofila y oxígeno disuelto.</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 42 Estaciones que no cumplen con el límite de coliformes totales permisibles.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 43 Estaciones que no cumplen con el límite de coliformes fecales permisibles</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 44 Tiempos medidos para el cálculo del caudal de entrada a la laguna.</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 45 Valores aforados durante el primer monitoreo 02 marzo 2017.</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 46 Valores aforados durante el segundo monitoreo 06 abril 2017.</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 47 Valores aforados durante el tercer monitoreo 17 mayo 2017.</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 48 Valores aforados durante el cuarto monitoreo 06 julio 2017.....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 49 Valores aforados durante el quinto monitoreo 24 agosto 2017.</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 50 Valores aforados durante el sexto monitoreo 30 agosto 2017.....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 51 Altura de lodo en el interior de la laguna.</i>	<i>125</i>



Universidad de Cuenca

<i>Tabla 52 Correcciones para las lecturas del hidrómetro 152H.</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 53 Análisis por hidrómetro del sedimento encontrado en la laguna.</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 54 Correcciones por hidrómetro.....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 55 Porcentajes acumulados para la obtención de la curva granulométrica mediante el hidrómetro.</i>	<i>140</i>



Lista de Ilustraciones

<i>Ilustración 1 Ubicación del Parque Infantil Marco Romero Heredia.</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 2 Conducción desde la vertiente hasta la laguna.</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 3 Canal para el vaciado de la laguna.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 4 Llegada de tuberías al pozo de revisión.</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 5 Cámara seca del sistema de bombeo para las piletas.</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 6 Ubicación de las estaciones de muestreo alrededor del cuerpo lagunar.</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 7 Red de triangulación de la laguna.</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 8 Modelo de la laguna obtenido mediante la topografía realizada.....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 9 Malla no estructurada del fondo de la laguna.....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 10 Clorofila medida in situ en la superficie de la laguna.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 11 Clorofila medida in situ a profundidad media de la laguna.</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 12 Clorofila medida in situ en el fondo de la laguna.</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 13 Resultados del análisis de turbiedad de las muestras.</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 14 Resultados del análisis de color aparente de las muestras.</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 15 Resultados del análisis de color real de las muestras.</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 16 Resultados del análisis de pH de las muestras.</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 17 Coliformes totales calculados en las muestras de agua de la laguna.</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 18 Ampliación del diagrama de coliformes totales.</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 19 Ampliación del diagrama de coliformes totales.</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 20 E. Coli calculado en las muestras de agua de la laguna.....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 21 Ampliación del diagrama de E. Coli.....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 22 Ampliación del diagrama de E. Coli.....</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 23 Resultados de los análisis de fósforo de las muestras.</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 24 Resultados de los análisis de nitrógeno de las muestras.</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 25 Oxígeno disuelto, medido in situ, de la superficie de la laguna.</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 26 Oxígeno disuelto, medido in situ, a profundidad media de la laguna.</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 27 Oxígeno disuelto, medido in situ, en el fondo de la laguna.</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 28 Demanda bioquímica de oxígeno de las muestras de agua de la laguna.</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 29 Curva granulométrica del sedimento.....</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 30 Curvas de nivel de la superficie del fondo de la laguna.</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 31 Ejes de perfiles batimétricos en el eje corto de la laguna.</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 32 Ejes de perfiles batimétricos en el eje largo de la laguna.</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 33 Perfil batimétrico Eje 3.....</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 34 Perfil batimétrico Eje 6.....</i>	<i>88</i>



<i>Ilustración 35 Distribución de las velocidades en la simulación de flujo en la laguna.</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 36 Distribución del número de Froude en la simulación de flujo en la laguna.</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 37 Diagrama de cajas y bigotes de la clorofila en la superficie.</i>	<i>91</i>
<i>Ilustración 38 Diagrama de cajas y bigotes de la clorofila en el medio.....</i>	<i>91</i>
<i>Ilustración 39 Diagrama de cajas y bigotes de la clorofila en el fondo.</i>	<i>91</i>
<i>Ilustración 40 Diagrama de caja y bigotes de turbiedad.....</i>	<i>92</i>
<i>Ilustración 41 Diagrama de cajas y bigotes de color aparente.</i>	<i>93</i>
<i>Ilustración 42 Diagrama de cajas y bigotes de color real.</i>	<i>93</i>
<i>Ilustración 43 Diagrama de cajas y bigotes del pH.....</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 44 Diagrama de cajas y bigotes de coliformes totales, sin el valor atípico.</i>	<i>95</i>
<i>Ilustración 45 Diagrama de cajas y bigotes del E. Coli.</i>	<i>95</i>
<i>Ilustración 46 Diagrama de cajas y bigotes del fósforo total.....</i>	<i>96</i>
<i>Ilustración 47 Diagrama de cajas y bigotes del nitrógeno total.....</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 48 Diagrama de cajas y bigotes del oxígeno disuelto en la superficie.....</i>	<i>98</i>
<i>Ilustración 49 Diagrama de cajas y bigotes del oxígeno disuelto en el medio.....</i>	<i>98</i>
<i>Ilustración 50 Diagrama de cajas y bigotes del oxígeno disuelto en el fondo.....</i>	<i>98</i>
<i>Ilustración 51 Diagrama de cajas y bigotes de la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días.</i>	<i>99</i>
<i>Ilustración 52 Caudales de ingreso y caudales de salida.</i>	<i>106</i>
<i>Ilustración 53 Caudal de entrada vs caudal de salida.....</i>	<i>106</i>
<i>Ilustración 54 Líneas de flujos preferenciales dentro de la laguna.</i>	<i>107</i>
<i>Ilustración 55 Zonas de flujo muertas dentro de la laguna.</i>	<i>108</i>
<i>Ilustración 56 Resultados primer monitoreo 02 - marzo - 2017.....</i>	<i>127</i>
<i>Ilustración 57 Resultados segundo monitoreo 06 - abril - 2017.....</i>	<i>128</i>
<i>Ilustración 58 Resultados tercer monitoreo 17 - mayo - 2017.....</i>	<i>129</i>
<i>Ilustración 59 Resultados cuarto monitoreo 06 - julio - 2017.....</i>	<i>130</i>
<i>Ilustración 60 Resultados quinto monitoreo 24 - agosto - 2017.....</i>	<i>131</i>
<i>Ilustración 61 Resultados sexto monitoreo 30 - agosto - 2017.....</i>	<i>132</i>
<i>Ilustración 62 Resultados séptimo monitoreo 03 - enero - 2018.</i>	<i>133</i>
<i>Ilustración 63 Resultados análisis de sedimento encontrado.</i>	<i>134</i>
<i>Ilustración 64 Resultados agua cruda a la llegada de la laguna 09 - noviembre - 2017..</i>	<i>135</i>
<i>Ilustración 65 Resultados análisis bacteriológico de agua cruda a la salida de la verrtiente y agua cruda a la llegada a la laguna 03 - enero - 2018.....</i>	<i>136</i>



Lista de Fotografías

<i>Fotografía 1 Llegada de agua subterránea a la laguna.</i>	<i>44</i>
<i>Fotografía 2 Canal de evacuación para el exceso de agua.</i>	<i>45</i>
<i>Fotografía 3 Llegada de las tres tuberías hacia el pozo de revisión.</i>	<i>45</i>
<i>Fotografía 4 Canal de vaciado de la laguna.</i>	<i>46</i>
<i>Fotografía 5 Captación lateral que está en correcto funcionamiento.</i>	<i>46</i>
<i>Fotografía 6 Captación lateral que no está en funcionamiento.</i>	<i>47</i>
<i>Fotografía 7 Fondo de la laguna antes de la limpieza.</i>	<i>48</i>
<i>Fotografía 8 Personal de mantenimiento culminando con la limpieza de fondo.</i>	<i>48</i>
<i>Fotografía 9 Levantamiento topográfico de la laguna.</i>	<i>54</i>
<i>Fotografía 10 Levantamiento topográfico de la laguna.</i>	<i>54</i>
<i>Fotografía 11 Levantamiento topográfico de la laguna.</i>	<i>55</i>
<i>Fotografía 12 Medición de altura de sedimentos.</i>	<i>57</i>
<i>Fotografía 13 Toma de muestra de sedimento para análisis.</i>	<i>58</i>
<i>Fotografía 14 Muestra de sedimento tomada.</i>	<i>59</i>
<i>Fotografía 15 Muestra de sedimento luego de ser secada.</i>	<i>59</i>
<i>Fotografía 16 Inicio del vaciado de agua en la laguna.</i>	<i>121</i>
<i>Fotografía 17 Retiro de material acumulado en la compuerta del canal de evacuación de agua.</i>	<i>121</i>
<i>Fotografía 18 Tubería que protege la palanca para abrir la compuerta del canal.</i>	<i>121</i>
<i>Fotografía 19 Paredes de mampostería llenas de algas verdes.</i>	<i>122</i>
<i>Fotografía 20 Alambres y palos cubiertos de algas verdes.</i>	<i>122</i>
<i>Fotografía 21 Ropa cubierta de algas verdes.</i>	<i>122</i>
<i>Fotografía 22 Lodo sedimentado al fondo de la laguna.</i>	<i>123</i>
<i>Fotografía 23 Paredes de mampostería y tubería PVC a la entrada de agua a la laguna con presencia de algas verdes.</i>	<i>123</i>
<i>Fotografía 24 Presencia de variedad de artículos en el fondo del muelle cubiertos con algas verdes.</i>	<i>123</i>
<i>Fotografía 25 Personas ingresando a la laguna sin protección para llevar los peces que se encontraron en la misma.</i>	<i>124</i>
<i>Fotografía 26 Llenado de la laguna únicamente con el caudal de ingreso de la vertiente.</i>	<i>137</i>
<i>Fotografía 27 Canal de vaciado totalmente limpio, sin material obstruyente.</i>	<i>137</i>
<i>Fotografía 28 Drenaje de fondo para el funcionamiento de las piletas.</i>	<i>137</i>
<i>Fotografía 29 Ingreso de agua de la vertiente hacia la laguna.</i>	<i>138</i>



Universidad de Cuenca

<i>Fotografía 30 Tubería de la vertiente junto a la tubería que lleva el agua hacia la laguna.</i>	
.....	139
<i>Fotografía 31 Pozo de revisión cubierto con malla electrosoldada, expuesta a la interperie.</i>	
.....	139



Abreviaturas y Simbología

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente.

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

pH: Potencial Hidrógeno.

N: Nitrógeno.

P: Fósforo.

GAD: Gobierno Autónomo Descentralizado.

UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

NO₃/L: Nitrato por litro de Nitrógeno.

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días.

E. coli: Escherichia coli.

IET: Índice de Estado Trófico o Índice de Carlson.

PVC: Policloruro de vinilo.

ORP: Potencial de Reducción del Oxígeno.

Q: Caudal.

V: Velocidad.

t: Tiempo.

A: Área.

s: segundos.

GPS: *Global Positioning System*, (Sistema de Posicionamiento Global).

ASTM: *American Society of Testing Materials* (Asociación Americana de Ensayos de Materials).

G_s: Gravedad específica.

DS: Disco de Secchi.

UTF: Unidad de Turbidez de la Formazina.

Cl “a”: Clorofila alpha.

TP: Fósforo Total.

2D: Bidimensional.

3D: Tridimensional.

DEM: Modelo Digital de Elevaciones.

ASCII: *American Standard Code for Information Interchange*, (Código Estándar Americano para el Intercambio de Información).

UC: Unidad de Color.

μS: microsiemens.

UFC: Unidad Formadora de Colonias.



Universidad de Cuenca

CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo, Ana Carolina Pesántez Serrano, autor/a del trabajo de titulación “DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA RECREACIONAL DEL PARQUE INFANTIL “MARCO ROMERO HEREDIA”, UBICADA EN AZOGUES - PROVINCIA DEL CAÑAR”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, abril 2018.

Carolina Pesántez

Ana Carolina Pesántez Serrano

C.I: 030192750 - 5



Universidad de Cuenca

CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo, Luis Antonio Ortega Peñafiel, autor/a del trabajo de titulación “DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA RECREACIONAL DEL PARQUE INFANTIL “MARCO ROMERO HEREDIA”, UBICADA EN AZOGUES - PROVINCIA DEL CAÑAR”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, abril 2018.

Luis Antonio Ortega Peñafiel

C.I: 030230270 - 8



Universidad de Cuenca

CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Luis Antonio Ortega Peñafiel, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA RECREACIONAL DEL PARQUE INFANTIL “MARCO ROMERO HEREDIA”, UBICADA EN AZOGUES - PROVINCIA DEL CAÑAR”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, abril 2018.

Luis Antonio Ortega Peñafiel

C.I: 030230270 - 8



Universidad de Cuenca

CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Ana Carolina Pesántez Serrano, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA RECREACIONAL DEL PARQUE INFANTIL "MARCO ROMERO HEREDIA", UBICADA EN AZOGUES - PROVINCIA DEL CAÑAR", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, abril 2018.

Carolina Pesántez

Ana Carolina Pesántez Serrano

C.I: 030192750 - 5



Universidad de Cuenca

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado especialmente a las memorias de: mi tío Bolívar Iván Peñafiel quien fue mi gran inspiración, cuando fui niño, para decidirme ser ingeniero civil; mi tío Sixto Ortega y mi primo David Ortega, con quienes hubiese deseado compartir este gran momento de mi vida; mis abuelos Atahualpa Ortega y Gonzalo Peñafiel, quienes seguramente estarían muy orgullosos.

De igual manera, va dedicado para mi padre Luis Ortega, quien me ha enseñado que la honestidad debe prevalecer ante todo; para mi madre Eulalia Peñafiel, quien desde que fui pequeño siempre supo cómo cuidarme y guiarme por el buen camino. Sin ellos nada de esto hubiese sido posible, gracias por haberme enseñado que la educación es el arma más poderosa para enfrentarse al mundo.

También deseo dedicar mi esfuerzo para mis hermanos Sebastián y Bolívar; para todos mis grandes amigos que hice durante mi vida universitaria, con quien tengo los mejores recuerdos de este viaje; así también, para una persona muy especial, Doménika Guerrero.

Para mi compañera de trabajo de titulación Carolina Pesántez, quien es mi gran amiga y una excelente persona, con la que pude contar para todo en este trayecto.

Finalmente, de manera especial para mis abuelitas Aidé Sacoto y Delia González.

Luis Antonio Ortega Peñafiel



Universidad de Cuenca

Este trabajo de titulación lo dedico a Dios quien me dio la sabiduría para culminar el proyecto, a mis padres, hermanos, y de manera muy especial a mi hijo y esposo quienes están junto a mí para culminar una meta más en mi vida.

A mis maestros y amigos quienes han sido el apoyo incondicional con sus enseñanzas y granito de conocimientos brindados para el desarrollo del proyecto.

Ana Carolina Pesántez Serrano



Universidad de Cuenca

Agradecimiento

Quisiera agradecer a nuestra directora de trabajo de titulación Dra. Guillermina Pauta, quien supo guiarnos de la mejor manera durante esta etapa, demostrando ser una excelente profesional y persona. De la misma manera a nuestro lector Ing. Diego Idrovo por ayudarnos en este proceso e impartirnos excelentes clases, las cuales ha servido para decidirme a dedicarme a la misma rama de la ingeniería. De la misma manera un agradecimiento a nuestro otro lector Ing. Esteban Pacheco, un especialista en la docencia.

Igualmente, muchos agradecimientos, por su destacable labor, para el personal del Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Cuenca, Dra. Andrea Abril y Dra. Gabriela Vázquez.

Finalmente, de manera muy especial un agradecimiento al Dr. Virgilio Saquicela, alcalde del cantón Azogues, quien nos facilitaron todos los permisos y requerimientos para llevar a cabo este trabajo de titulación.

Luis Antonio Ortega Peñafiel



Primeramente, quiero agradecer a Dios quien me ha dado la vida, y las condiciones para avanzar en la formación de mi profesión.

A mi familia, pues sin lugar a duda, todos son un apoyo para cumplir con esta meta. En especial, a mi madre Ana Lucía, quien a pesar de tantos obstáculos supo disciplinarme y encaminarme por el camino correcto, a mis dos padres que Dios me concedió, César, quien está en el cielo desde ya hace 23 años, desde donde me protege, y Willy quien me acogió como si fuese su hija. A mis tres padres les doy las gracias, estoy infinitamente agradecida por su guía, indispensable para hoy cumplir con una de las metas de mi existencia, a ellos gracias, por dejarme como su mejor legado, la gratitud, el sacrificio por desarrollarme como profesional, mejorando las oportunidades que se presentan en el día a día

De manera muy especial a mi hijo Julián. Muchas ocasiones tuvo que cambiar sus días de juego o de parque, sus noches de sueño, por quedarse en casa para de esta forma, poder cumplir con mis obligaciones de estudio. Él, con su sonrisa, sus caritas, sus palabras me proporcionaba: valor, ánimo, valentía para seguir batallando con firmeza mi carrera profesional, forjando con el ejemplo el sacrificio que a futuro deberá desarrollar para su formación personal y profesional.

A Diego, mi esposo, quien es el apoyo incondicional para salir adelante en este proyecto. Como no ser grata con aquellos maestros y amigos, quienes, desde la infancia, me brindaron su apoyo, supieron otorgar conocimiento para avanzar con este desarrollo profesional, desde el inicio de mi educación en la escuela, luego en el colegio y finalmente en la universidad. De manera especial, a la Dra. Guillermina Pauta, gracias por el tiempo y paciencia brindados, por el incondicional apoyo para resolver con claridad los inconvenientes en el transcurso de este trabajo de titulación. A las Doctoras en Bioquímica: Gabriela Vásquez, Andrea Abril, quienes, a pesar del solemne trabajo, dedicaron tiempo para el análisis de las muestras tomadas de la laguna en estudio, al Ing. Freddy Pacheco, por su trascendental colaboración en el desarrollo de este proyecto de titulación.

Al GAD municipal del cantón Azogues, quienes nos dieron la oportunidad de realizar el estudio de la laguna, brindándonos apoyo necesario en las actividades pertinentes. Agradezco también al Señor Rafael Arango, encargado del mantenimiento de áreas verdes de la ciudad de Azogues, quien nos apoyó con inquietudes presentadas durante el proyecto. Finalmente, agradezco a todos mis amigos, a Luis Ortega, a Diana Estrella, en especial a Jéssica Fierro, con quien forjamos especial camaradería durante nuestra promoción universitaria, a pesar de todo menoscabo, siempre la amistad prevaleció, gracias a las virtudes de respeto y naturalidad con que cuenta.

Ana Carolina Pesántez Serrano.



1. INTRODUCCIÓN

La laguna del Parque Infantil Marco Romero Heredia, representa uno de los principales atractivos del cantón Azogues. Esta laguna de uso recreacional, ofrece paseos en canoas los fines de semana y en época de carnaval es una tradición que los jóvenes y niños ingresen en ésta para divertirse.

Sin embargo, el deterioro de la calidad de agua es preocupante debido a la poca importancia que se le ha dado a este cuerpo lagunar, ignorando que un agua recreativa en mal estado es causa del brote de enfermedades en la población (Sierra, 2011), además de dar un pésimo aspecto en su estética. A pesar de que la laguna ha tenido cambios sustanciales en cuanto a su estructura, el aspecto de calidad de agua, ha sido poco considerado. Por esto es importante que se establezca un diagnóstico de su estado actual.

El uso del agua para fines recreativos por contacto secundario debe cumplir con normativas impuestas, y debe ser controlada como ya ocurre en numerosos países (Díaz Delgado, Esteller Alberich, & López-Vera, 2006). En Ecuador la normativa TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente) establece parámetros para calidad de agua según sus usos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

- Estudiar la calidad del agua de la laguna para fines recreativos por contacto secundario, de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente vigente.

▪ 1.1.2 Objetivos Específicos

- Comparar los resultados obtenidos con la normativa de referencia.
- Realizar un diagnóstico del estado del agua de la laguna.
- Realizar mediciones de variables hidráulicas de repercusión en la calidad del agua.
- Recomendar posibles tratamientos para mejorar la calidad de agua.

1.2 Justificación

La laguna del Parque Infantil Marco Romero Heredia, a pesar de ser el principal atractivo del parque más grande de la ciudad, presenta un aspecto deplorable, nada estético y poco higiénico. Al ser una laguna ornamental, su uso fundamental es el “*recreativo por contacto*”



secundario”, por lo que debe cumplir con los parámetros de calidad de agua establecidos para este fin y estipulados en la normativa TULSMA.

Varias personas, especialmente niños, ingresan ocasionalmente dentro de la laguna poniendo en riesgo su salud; además el agua de la laguna es utilizada por mascotas y perros callejeros como abrevadero, por lo que, es necesario disponer de agua segura, para no exponer la salud de las personas.

Según reporta el personal encargado, el mantenimiento es prácticamente nulo, debido a que no se dispone de un manual de procedimientos para hacerlo. No se dispone tampoco de un plan de vigilancia para la calidad del agua, y determinar el nivel de cumplimiento de la normativa en referencia, por lo que la laguna pasa en condiciones de eutrofización notoria a simple vista, la mayor parte del tiempo.

Por lo anotado, el diagnóstico de la calidad de agua de la laguna del Parque Infantil “Marco Romero Heredia” servirá para mejorar tanto el aspecto estético de la misma como proporcionar un ambiente seguro para personas. Los resultados definirán el mantenimiento y mecanismo de tratamiento a implementar.

El estudio será entregado a las autoridades pertinentes del GAD municipal del cantón Azogues.

1.3 Alcance

Este trabajo de titulación consiste en estudiar la calidad de agua de la laguna del parque infantil “Marco Romero Heredia”, de acuerdo a los parámetros establecidos por la normativa ecuatoriana TULSMA para calidad de agua de uso recreativo por contacto secundario.

Para llevar a cabo el estudio, se identificaron 5 estaciones de control ubicadas estratégicamente dentro de la laguna. Se realizaron 6 campañas de monitoreo desde marzo a agosto de 2017, una séptima campaña de monitoreo se realizó en enero de 2018 únicamente en dos puntos, luego de que laguna fue vaciada y llenada nuevamente.

También se establece el estado trófico de la laguna, según el índice de Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y el índice de Carlson; se realiza un análisis granulométrico y químico del sedimento del fondo de la laguna, y adicionalmente, se configura un modelo bidimensional del flujo de acuerdo a las características topográficas e hidráulicas de la laguna.



Se recomiendan posibles tratamientos para un adecuado mantenimiento de la laguna y se indican los ensayos a realizar para la obtención de dosis de sustancias a adicionar en este mantenimiento.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Calidad de agua

La calidad de un ambiente acuático se puede definir como: *i)* una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y *ii)* la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua.

La calidad de agua está íntimamente ligada con su origen, la existencia de mayor o menor intensidad de mezcla, la estratificación, el tiempo de retención, la forma física del estanque, el movimiento del agua, los aportes de contaminantes y su riqueza nutricional (Romero Rojas, 2005). La calidad del agua presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos del cuerpo de agua (Sierra, 2011).

Los requisitos y criterios de calidad de agua para diferentes usos, se definen como un soporte legal, que especifica las condiciones y concentraciones límites de determinados parámetros (Díaz Delgado et al., 2006). En Ecuador el soporte legal que define los parámetros a contemplar para una evaluación de la calidad de agua es el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA).

Para hacer un estudio de la calidad del agua, se debe contemplar (Catalán Lafuente & Catalán Alonso, 1987):

- Conocer la calidad actual de las aguas y su causa.
- Conocer los posibles contaminantes, de acuerdo con los datos analíticos hallados.
- Realizar una labor de control analítico, comprobando si se cumplen las normas de calidad establecidas.

2.1.1 Deterioro de la calidad de agua

Problemas comunes que afectan la calidad de las aguas (Catalán Lafuente & Catalán Alonso, 1987):

- Catástrofes naturales y/o antrópicas.



- Presencia de grandes cantidades de materias en suspensión decantables.
- Presencia de sustancias coloidales en suspensión (turbidez).
- Temperaturas anormales, esporádicas o permanentes, para la época del año y la altitud o latitud.
- Aumento de la salinidad de las aguas.
- Aumento de la concentración de nutrientes (N y P).
- Disminución del oxígeno disuelto en el agua, por debajo de su concentración crítica.
- Presencia de sustancias contaminantes biorresistentes.
- Presencia de grandes cantidades de sustancias biodegradables.
- Presencia de sustancias tóxicas orgánicas y/o inorgánicas.
- Polución microbiana.

2.2 Variables y parámetros a considerar en el estudio de la calidad del agua

Para conocer la calidad del agua es necesario medir ciertos parámetros. Los parámetros de la calidad del agua están clasificados en físicos, químicos y microbiológicos. Las agencias internacionales encargadas de estudiar la calidad de agua han estandarizado los criterios y los métodos para realizar los análisis del agua en el laboratorio. La publicación que recopila la metodología de laboratorio se titula: *Standars Methods for Water and Wastewater Examination* (Sierra, 2011).

2.2.1 Parámetros físicos

Son aquellas sustancias que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua. Los principales parámetros físicos a considerar son (Sierra, 2011):

- **Turbiedad:** Se conoce como turbiedad la capacidad que tiene el material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de la luz. La turbiedad se expresa en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Una unidad de turbiedad es una cantidad patrón empírica producida al agregar 1 mg de SiO_2 a un litro de agua destilada.
- **Color:** El color está clasificado como color aparente y color verdadero. El primero se considera producido por el material suspendido mientras que el color verdadero es el que permanece en el agua después de remover la turbiedad. La unidad de color es la que se obtiene al agregar 1 mg de cloroplatinato de potasio en un litro de agua destilada.



- **Olor y sabor:** Se mencionan en conjunto por estar íntimamente ligados. Los olores y sabores objetables pueden ser debido a la presencia del plancton, compuestos orgánicos generados por la actividad de las bacterias y algas.
- **Temperatura:** Es uno de los parámetros más importante de la calidad de agua. La temperatura afecta la química del agua y las funciones de los organismos acuáticos. Esta influye en (*California Environmental Protection Agency*, 2010):
 - La cantidad de oxígeno que se puede disolver en el agua.
 - La velocidad de fotosíntesis de las algas y otras plantas acuáticas.
 - La sensibilidad de organismos a desechos tóxicos, parásitos y enfermedades.
- **Sólidos:** Para dar un diagnóstico acerca de la calidad del agua, es necesario determinar la cantidad de material sólido que contiene la muestra. Existen distintos tipos de sólidos a considerar en la calidad de agua, estos son: sólidos totales, sólidos sedimentables, sólidos disueltos, sólidos suspendidos y los sólidos suspendidos volátiles.

2.2.2 Parámetros químicos

Los parámetros físicos químicos del agua se dividen en dos clases: *i*) indicadores y *ii*) sustancias químicas (Sierra, 2011).

- **Indicadores**
 - **Potencial hidrógeno (pH):** El pH es el término utilizado para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua. Por análisis químicos se sabe que el pH siempre se encuentra en una escala de 0 a 14. Si las aguas se encuentran en un rango de 0 a 7 se considera ácida y si están en el rango de 7 a 14 se consideran básicas (Sierra, 2011).
 - **Acidez:** Generalmente se considera que todas las aguas que tiene un pH inferior a 8.5 unidades tienen acidez. La acidez en las aguas es ocasionada generalmente por la presencia de CO₂ o por la presencia de un ácido fuerte (Sierra, 2011).
 - **Alcalinidad:** La alcalinidad en el agua es entendida como la capacidad que tiene para neutralizar los ácidos. La alcalinidad puede considerarse como la



presencia de sustancias básicas en el agua, principalmente sales de ácidos débiles o bases fuertes (Sierra, 2011).

- **Conductividad:** La conductividad es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Se mide en micromhos/cm o microsiemens/cm (Sierra, 2011).

▪ Sustancias químicas

- **Grasas:** El término grasa se aplica a una amplia variedad de sustancias orgánicas que se extraen de soluciones acuosas o en suspensión. La extracción de estas sustancias se hace en el laboratorio utilizando hexano. Generalmente, se pueden considerar grasas a compuestos como los hidrocarburos, ésteres, aceites, ceras y ácidos grasos de alto peso molecular (Sierra, 2011).
- **Nitrógeno (N):** El nitrógeno, así como el fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. En lagos y embalses concentraciones por encima del 0.2 mg NO₃/L ya empiezan a generar problemas de eutrofización en el agua (Sierra, 2011).
- **Fósforo (P):** El fósforo es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en las aguas superficiales ocurren nocivas proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existe mucho interés en limitar la cantidad de fósforo que alcanzan las aguas superficiales (Sierra, 2011).
- **Clorofila:** En los estudios de calidad de agua se utiliza únicamente la clorofila α , ya que se encuentra en todas las algas. Esta se utiliza como una medida de la cantidad de materia vegetal o biomasa que existe en el agua. Con base en este parámetro también se puede determinar el estado trófico del agua. La clorofila α se encuentra en todas las algas y presenta dos bandas de absorción, una en la zona roja de espectro visible con una longitud de onda entre 660 y 665 nm, y la otra con una longitud de onda menor de 430 nm en la zona violeta (Sierra, 2011).
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅):** Determina el contenido de materia orgánica en el agua a través de la cantidad de oxígeno que requieren



los microorganismos para degradar, oxidar y estabilizar la materia orgánica. La demanda bioquímica de oxígeno, se determina mediante el contenido inicial de oxígeno de una muestra de agua, y se repite la determinación, después de haber guardado la muestra en la oscuridad y a una temperatura convenida (20°C) durante 5 días. La diferencia entre ambas determinaciones expresa el oxígeno consumido durante el tiempo transcurrido (Margalef, 1983).

2.2.3 Parámetros microbiológicos del agua

La mala calidad de agua recreativa es causa del brote de enfermedades en la población. Las enfermedades entéricas que se contagian comúnmente por el contacto bucal de desechos fecales y las no entéricas pueden ser causadas por bacterias, virus y protozoarios, además, por hongos, por derivados fecales y por derivados no fecales (Flores, 2014).

- **Bacterias:** La mayoría de las bacterias patógenas que pueden transmitirse por el agua infectan el aparato digestivo y son excretadas en las heces de personas o animales infectados. Pueden proliferar en el agua y en el suelo, y cuyas vías de transmisión incluyen la inhalación del rocío o los vapores del agua y el contacto directo al bañarse. Pueden producir infecciones en el aparato respiratorio, aparato digestivo y lesiones en la piel o el cerebro.
- **Virus:** La mayoría de los virus asociados con la transmisión por el agua son aquellos que pueden infectar el aparato digestivo y se excretan en las heces de las personas infectada. Otros virus, excretados en la orina, pueden contaminar el agua y posiblemente transmitirse por esta vía, con posibles efectos negativos en la salud a largo plazo.
- **Protozoarios:** El agua desempeña una función importante en la transmisión de protozoos y helmintos. La mayoría de estos patógenos producen quistes o huevos resistentes a procesos utilizados para la desinfección del agua siendo en algunos casos difíciles de eliminarlos.

2.3 Calidad de agua para fines recreativos

Se puede considerar como agua de uso recreativo a cualquier cuerpo de agua natural, marina o estuarios donde un número significativo de personas usan el agua con este fin. Estas incluyen construcciones hechas por el hombre utilizando aguas no tratadas, como por ejemplo lagunas artificiales (Health Canada, 2012).



Las actividades en aguas recreacionales, se pueden clasificar como cualquier actividad que involucre la sumersión intencional o incidental en aguas naturales. Estas se definen como (Health Canada, 2012):

- **Contacto primario:** actividades en las cuales todo el cuerpo, cara o tronco se sumergen frecuentemente o la cara es frecuentemente mojada por espráis, y donde es común que un poco de agua sea ingerida (natación, surf, esquí acuático, *windsurf*, buceo, entre otros).
- **Contacto secundario:** actividades en las cuales solo las extremidades se mojan regularmente y en las cuales un mayor contacto (incluyendo ingesta de agua) es inusual (remos, velas, canotaje turístico, pesca, entre otros).

El uso del agua para fines recreativos cada vez es más importante, ya que el aumento del nivel económico permite a la comunidad realizar más actividades de ocio. En el caso de las actividades que implican contacto directo del hombre con el agua, debe ser normada y controlada como ya ocurre en numerosos países (Díaz Delgado et al., 2006)

El agua para recreación, tanto primaria como secundaria, debe ser inocua para nadadores y bañista. Tiene que ser estéticamente aceptable, libre de sustancias flotantes o suspendidas, sin color ni olor, sin sustancias tóxicas, sin componentes irritantes de la piel y libre organismos patógenos (Romero Rojas, 2005)

Para poder evaluar el estado de las aguas destinadas a uso recreativo, es necesario contar con niveles guías basados en estudios epidemiológicos. Éstos deberían ser interpretados o modificados en función de factores regionales o locales. Tales factores incluyen la naturaleza y severidad de enfermedades endémicas locales, el comportamiento de la población, la forma de exposición y los aspectos socioculturales, económicos, ambientales y técnicos (WHO, 2003).

2.4 Enfermedades relacionadas con el agua recreativa

El uso de agua para propósitos recreacionales posee un número de riesgos para la salud que depende de factores como la naturaleza del peligro, las características del cuerpo de agua y el estado inmune del usuario (Pond, 2005).

Las enfermedades relacionadas con el agua recreacional se están convirtiendo en una preocupación a nivel mundial, y son causadas por agua contaminada con bacterias o parásitos patógenos que son descargados por los usuarios. Aunque algunas enfermedades del agua recreativa pueden relacionarse con animales o la fuente de abastecimiento, en la práctica los seres humanos somos los responsables de la propagación de estos brotes de



enfermedades en el agua recreativa, por medio de secreción de fluidos al agua, pésimos hábitos de higiene personal, falta de mantenimiento y operación del medio recreativo (Flores, 2014).

2.4.1 Enfermedades gastrointestinales

Los principales causantes de enfermedades gastrointestinales que se pueden presentar por una inadecuada calidad recreativa son (Flores, 2014):

- **Bacterias**

- **Enterococos intestinales:** son excretados en las heces humanas y los animales de sangres caliente.
- **Shigella:** causa diarrea mucosanguinolenta, fiebre y dolor abdominal.
- **E. coli:** causa diarrea hemorrágica y ocasionalmente una falla renal, se transmite por vía fecal – oral, y con nadar o beber en aguas contaminadas.

- **Virus**

- **Virus de hepatitis A y hepatitis E:** contagio por medio del agua, oral-fecal; causa náuseas, dolor abdominal, fiebre, pérdida del apetito.
- **Norovirus:** causa diarrea, cólicos estomacales y náuseas; se encuentra en el excremento y vómito de personas enfermas.
- **Rotavirus:** causa diarrea líquida grave, vómito, fiebre y dolor abdominal; se transmite por vía oral-fecal.

- **Protozoarios**

- **Cryptosporidium parvum:** causa diarrea y se encuentra en las heces de personas y animales infectados.
- **Giardia intestinalis:** causa diarrea, eructos, gas y retortijones, se transmite al tragar agua contaminada con heces que contienen este microbio.
- **Naegleria fowleri:** causa meningoencefalitis amebiana en personas sanas, se trasmite en medios acuáticos con contaminación térmica, como aguas geotermas o piscinas climatizadas.

2.4.2 Enfermedades no gastrointestinales

Los principales causantes de enfermedades no gastrointestinales que se pueden presentar por una inadecuada calidad recreativa son (Flores, 2014):

- **Cianobacterias tóxicas:** no se proliferan en el organismo humano, sin embargo, algunas condiciones medioambientales ocasionan una coloración verdosa del agua



por la alta densidad de células suspendidas; causan trastornos digestivos, fiebre e irritaciones de la piel.

- **Pseudomonas aeruginosa:** este microbio se encuentra en el agua y en el suelo, causa ronchas en la piel que provoca picazón y que se convierte en una erupción elevada de color rojizo.
- **Leptospira:** causa hemorragia cutánea, fiebre, escalofríos y dolor muscular; se transmite por contacto directo con la orina de ratas y perros o por medio del agua y el suelo contaminado.

2.5 Eutrofización en cuerpos lagunares

La eutrofización durante mucho tiempo fue considerada como un proceso natural, un resultado de la descarga normal de nutrientes, sedimentos y otros materiales alóctonos en los sistemas acuáticos durante millones de años, en el cual un lago por ejemplo que recibía los aportes, se transformaba con el tiempo en una ciénaga que, al consolidarse, se convertía en un sistema terrestre. Este proceso tiene lugar en cientos de millones de años y es irreversible. Actualmente se habla de “Eutrofización cultural” o “Eutrofización”, refiriéndose a aquella que está asociada a la intervención del ser humano y que puede desarrollarse en escalas temporales mucho más cortas (Silvério, 2006).

Eutrofización, significa fertilización o presencia de nutrientes en el agua. La presencia de nutrientes en un embalse generalmente favorece el crecimiento de plantas. Dependiendo de diferentes condiciones, la abundancia relativa de nitrógeno, fósforo, luz, calor y de otras variables físicas y químicas, las plantas predominantes pueden ser algas, plantas acuáticas flotantes o adheridas al suelo, disminuyendo la capacidad (Sierra, 2011).

Es una evolución del medio hacia un estado, razón por la cual se integra en una escala caracterizada por distintos grados de “trofia” que simbolizan el nivel de riqueza en elementos que limitan la producción primaria (La Jeunesse, 2001).

La evaluación del estado trófico de un medio acuático expresa la relación entre la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento del fitoplancton dentro del sistema, por lo que el proceso de eutrofización depende principalmente del marco geográfico del medio y de las cargas de nutrientes que recibe, y se ve afectado no sólo por el aporte de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, sino también por factores como la temperatura, el pH, la turbidez, entre otros (Carlson & Simpson, 1996).

Se distinguen cuatro grados de trofia (La Jeunesse, 2001):

- **La ultra-oligotrofia y la oligotrofia:** es cuando el medio es pobre en materias nutritivas, pero muy oxigenado en toda su profundidad y la claridad del agua es muy buena.



- **La mesotrofia:** es una fase intermedia donde el contenido en materias nutritivas es medio y los organismos acuáticos son más numerosos.
- **La eutrofia:** es el proceso que califica un medio rico en materias nutritivas.
- **La hipertrofia:** es la continuación del proceso de eutrofización. El medio se enriquece con un exceso en materias nutritivas y las concentraciones en oxígeno disuelto en el agua son muy bajas.

Para caracterizar de la mejor manera posible el estado trófico de un medio, se evalúa el grado de eutrofización basándose en distintos parámetros como, por ejemplo, las concentraciones en fósforo total, clorofila α , o la claridad del agua medida por el disco de Secchi (Caspers, 1984).

En los ecosistemas acuáticos eutrofizados, comienza la alteración de la biota y de la diversidad biológica, provocando una proliferación de algas en exceso que, al morir, se depositan en el fondo de los medios acuáticos generando residuos orgánicos que se descomponen consumiendo una gran parte del oxígeno disuelto. Esto puede afectar a la vida acuática y producir la muerte por asfixia de la fauna y flora, hasta el punto de poder llagar a matar el cuerpo de agua por completo (Thomann & Mueller, 1987).

Se pueden distinguir cuatro fases principales en el proceso de eutrofización (Wright & Nebel, 2002):

1. Las altas concentraciones de nutrientes pueden llevar a proliferaciones masivas de fitoplancton. Esto impide que la luz penetre en el agua hasta las zonas más profundas de esta manera se impide el crecimiento de plantas a mayor profundidad y se reduce la biodiversidad.
2. Cuando el fitoplancton muere es remineralizado por parte de las bacterias. Este proceso utiliza esencialmente el oxígeno disuelto en el agua. Cuando el proceso es muy generalizado esta descomposición bacteriana puede utilizar tanto oxígeno, que no quede suficiente para los peces.
3. El fondo del ecosistema acuático se va convirtiendo de forma gradual en un ambiente anaerobio, debido al aumento en la concentración de gases como anhídrido sulfuroso, metano y anhídrido carbónico, haciendo inviable la forma de vida en la mayoría de las especies que forman dicho sistema.
4. En la última fase, se produce una muerte masiva de peces y de la biota en general, acompañada de bioacumulación de sustancias tóxicas provenientes de la muerte de algunas especies de algas. Se aumenta entonces la sedimentación en los cuerpos de agua, reduciendo su vida y favoreciendo la proliferación de organismos patógenos y vectores de enfermedades.



2.6 Sedimentos

Los sedimentos de un sistema acuático reflejan la calidad ambiental del agua, así como las variaciones temporales de ciertos parámetros hidrológicos y químicos. Los depósitos sedimentarios son importantes en la identificación, monitoreo y distribución de metales traza contaminantes, debido a que estos metales son fijados en los sedimentos por las arcillas, óxidos hidratados de hierro, magnesio y aluminio, carbonatos y materia orgánica (Azevedo, Monken, & Melo, 1988).

Los depósitos de sedimentos en los lagos funcionan bien sea como fuente o como reserva de muchos nutrientes esenciales involucrados en el proceso de eutrofización (Wetzel, 1981). Los sedimentos ricos en compuestos de fósforo, nitrógeno y materia orgánica de origen alóctono son típicos lagos eutróficos, mientras que sedimentos con baja concentración de compuestos fosfatados, nitrogenados y de materia orgánica caracterizan los lagos oligotróficos (Naumann, 1930).

2.6.1 Granulometría de sedimentos

La composición granulométrica del sedimento en un sistema lacustre es un factor de importancia en la determinación de los patrones de distribución de organismos y estructura de comunidades de macroinvertebrados bentónicos. Muchas veces porcentajes de fracciones de arena, limo y arcilla constituyen variables explicativas más eficientes que las físicas y químicas tradicionalmente usadas por los limnólogos (Callisto & Esteves, 1996).

2.7 Características hidráulicas de cuerpos lagunares

La dinámica del sistema acuático, los flujos del sistema (en especial las entradas y salidas) y su, variabilidad, las condiciones de renovación hidrodinámica, y los efectos del viento son, entre otros, los que ejercen papeles clave a la hora de regular el funcionamiento ecológico de un cuerpo lagunar (Zouiten, 2012).



2.8 Normativa de referencia

2.8.1 Calidad de agua

Las normas de calidad surgen como resultado del conocimiento que se ha logrado alcanzar de unos hechos, estudiando las respuestas que los organismos dan a determinados estímulos en condiciones previamente establecidas. Estas normas serán distintas según el uso que se vaya a hacer del agua, por lo que en cada norma habrá que contemplar distintos aspectos, estando, por tanto, constituidas por un conjunto de elementos y compuestos, a cuya concentración en el agua se le ha asignado un límite, de acuerdo con determinados criterios previamente establecidos (Catalán Lafuente & Catalán Alonso, 1987).

Las entidades públicas nacionales y locales vinculadas al uso de aguas recreativas tiene la responsabilidad de promover y garantizar un ambiente seguro, como por ejemplo en el control de peligros que pueden conducir al ahogamiento o lesión, o a una calidad microbiológica deficiente. Las áreas de recreación acuática pueden ser de propiedad privada o alquilada a un concesionario que mantenga las instalaciones o brinde servicios. Los dueños o concesionarios de servicios y su personal son clave en el control de los peligros para la salud humana y en algunas jurisdicciones pueden estar legalmente obligados a mantener un “debido cuidado” en forma permanente relacionado con la seguridad del agua o las playas (WHO, 2003).

En Ecuador, la normativa ambiental vigente para calidad de agua, hasta la fecha en la cual se realizó este trabajo de titulación, es el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente, Libro VI, Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua y publicado en el Registro Oficial Edición Especial N° 387 del 04 de noviembre de 2015. Esta normativa define al criterio de la calidad de agua como: concentración numérica o enunciado descriptivo recomendado sobre parámetros físicos químicos y biológicos para mantener determinado uso benéfico del agua. Los criterios de calidad para diversos usos del agua son la base para determinación de los objetivos de calidad en los tramos de un cuerpo receptor. Esta determinación generalmente demanda un proceso de modelación del cuerpo receptor en donde se consideran las condiciones más críticas de caudales del cuerpo receptor, las cargas futuras de contaminantes y la capacidad de asimilación del recurso hídrico.

Los parámetros para la calidad de agua de uso recreativo de contacto secundario contemplados en el Texto Unificado de la Legislación Secundaria Medio Ambiente, Libro VI, Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, se muestran en la Tabla 1.



Tabla 1: Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Parásitos nemátodos intestinales			Ausencia
Coliformes totales	-	NMP/100ml	4000
Oxígeno disuelto	OD	% de saturación	> 80
Potencial hidrógeno	-	pH	6-9
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0.5
Grasas y aceites	Película visible		Ausencia
Material Flotante	Visible		Ausencia
Relación nitrógeno-fósforo total	-		15:1

Además, el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente, Libro VI, Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, aprobado el 30 de agosto de 2002, se utilizó para la comparación de los coliformes totales que no se contemplan en la normativa vigente. Estos parámetros se muestran a continuación en la Tabla 2.



Tabla 2 Parámetros de calidad de agua para uso recreativo de contacto secundario

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes totales	NMP/ 100 ml		4000
Coliformes fecales	NMP/ 100 ml		1000
Compuestos fenólicos	Fenoles	mg / l	0,002
Oxígeno disuelto	O.D	mg / l	No menor al 80% de concentración de saturación
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 - 8,5
Metales y otras sustancias tóxicas			Cero
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales	mg / l	0,1 (para cada compuesto detectado)
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales	mg / l	0,2 (para cada compuesto detectado)
Residuos de petróleo	visibles		Ausencia
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg / l	0,5
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg / l	0,3
Sólidos flotantes	visible		Ausencia
Relación nitrógeno, fósforo orgánico			15 : 1



2.8.2 Estado Trófico de una Laguna

Para evaluar el estado trófico de un lago se debe tener en cuenta las propiedades físicas, químicas y biológicas del cuerpo de agua. En especial, se debe considerar y medir, la concentración de clorofila y la transparencia de la columna de agua (López & Madroño, 2015).

Existen indicadores matemáticos que permiten conocer el estado trófico de un cuerpo de agua. Para este trabajo de titulación, se propone una comparación entre el Índice OCDE con el Índice de Carlson.

2.8.2.1 Índice de La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE)

La OCDE agrupa a 35 países miembros, su misión es promover políticas que mejoren el bienestar económico y social de las personas. Esta organización ofrece un foro donde los gobiernos pueden trabajar conjuntamente y buscar soluciones a problemas económicos, sociales y ambientales (OCDE, 2017). Cabe recalcar que Ecuador no se encuentra dentro de esta organización.

Este índice establece algunos parámetros para la clasificación del estado trófico de un cuerpo acuático (Caspers, 1984). Los parámetros de aplicación se presentan en la Tabla 3:

Tabla 3: Valores límites del índice OCDE para un sistema completo de clasificación trófica

Grado de trofia	Fósforo total ($\mu\text{g/l}$)	Clorofila media ($\mu\text{g/l}$)	Clorofila máxima ($\mu\text{g/l}$)	Secchi media (m)	Secchi mínima (m)
Ultra - oligotrofia	< 4	< 1	< 2,5	> 12	> 6
Oligotrofia	< 10	< 2,5	2,5 - 8	> 6	> 3
Mesotrofia	10 - 35	2,5 - 8	8 - 25	6 - 13	3 - 1,5
Eutrofia	35 - 100	8 - 25	25 - 75	3 - 1,5	1,5 - 0,7
Hipertrofia	> 100	> 25	> 75	< 1,5	< 0,7

Esta clasificación proporciona un esquema cuantitativo probabilístico para las diferentes categorías de estado trófico a partir del análisis de concentración de fósforo, de la capacidad de generar biomasa (clorofila) y de la transparencia de la columna de agua (López & Madroño, 2015).



2.8.2.2 Índice de Carlson o Índice de estado trófico (IET)

Este índice se basa en la utilización del Disco Secchi para la medición de la transparencia de agua del lago, determinando el nivel de refracción de la luz a través de la turbidez y el color que presenta el agua por efecto de descarga de sólidos o por formación de sistemas coloidales (da Cunha & Correa, 2011). Sin embargo, se propuso una inclusión para la cuantificación de la biomasa a partir de la medición de la clorofila a lo propuesto por Carlson (Franco, Manzano, & Cuevas, 2010).

La profundidad de Secchi es una medida de transparencia del agua, donde la transparencia disminuye al aumentar la profundidad del Secchi. La profundidad Secchi, es la profundidad del agua más allá de la cual un patrón de alto contraste en un disco sumergido ya no es visible (USGS, 2016).

Los criterios de aplicación se presentan en la Tabla 4, las ecuaciones para la obtención de estos valores índices se indica posteriormente en el capítulo de metodología:

Tabla 4 Valores límites del Índice IET para la clasificación trófica

Grado de Trofia	Valor Índice
Ultra - oligotrofia	< 30
Oligotrofia	30 - 44
Mesotrofia	44 - 54
Eutrofia	54 - 74
Hipertrofia	> 74

2.9 Modelación de flujos de agua

La modelación matemática del flujo de agua consiste en intentar conocer los valores que toman las variables hidráulicas (calado, velocidades, caudal, entre otros) a partir de la resolución por métodos numéricos de unas ecuaciones obtenidas con una serie de hipótesis. La modelación matemática es siempre una aproximación a la realidad, tanto mejor cuanto más se adapten las ecuaciones de partida y el esquema numérico para su resolución al fenómeno real que se está estudiando (Cea & Bladé, 2008).

2.9.1 Modelos bidimensionales para flujos de agua

Debido a que las hipótesis unidimensionales se alejan demasiado de la realidad, encontrándose situaciones donde el flujo parece ser bidimensional, es decir, predominan las



dimensiones horizontales sobre las verticales, se ha desarrollado una modelización bidimensional del flujo (Cea & Bladé, 2008).

Los modelos bidimensionales para flujos de tramos cortos en los que existen ensanchamientos y estrechamientos de sección pueden provocar, en función de las condiciones de calado y caudal, zonas de recirculación importantes. Estas zonas de recirculación, provocan un aumento de velocidad en el resto de la sección. Tienen importancia también en el transporte de sedimentos y sustancias solubles, las cuales pueden quedar atrapadas en estas zonas de aguas muertas (Cea & Bladé, 2008).

2.9.2 Software de modelación hidráulico Iber

Iber, es un modelo matemático bidimensional para la simulación del flujo en lámina libre y procesos de transporte de flujo, desarrollado en colaboración por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de Coruña, UDC) y el Instituto FLUMEN (Universidad Politécnica de Catalunya, UPC, y Centro Internacional de Métodos Numéricos de Ingeniería, CIMNE) (Iber, s/f-b).

Iber, trabaja sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos, resolviendo ecuaciones de aguas poco profundas en dos dimensiones.

- **Mallas no estructuradas bidimensionales:** formadas por elementos de cualquier forma. Lo más habitual es utilizar elementos triangulares, pudiéndose utilizar asimismo elementos cuadrangulares en zonas con una geometría más regular. Su principal ventaja es la facilidad con que se adaptan a cualquier geometría, ya que no es necesario que la malla tenga ningún tipo de organización o estructura interna. Esta característica las hace especialmente indicadas para su utilización en hidráulica fluvial (Cea & Bladé, 2008).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción de la zona de estudio

El Parque Infantil Marco Romero Heredia, se encuentra ubicado en el sector “La Playa” en la parte baja de la ciudad de Azogues, con un área de 2 hectáreas. Este parque ostenta como principal atractivo una laguna recreacional.

La laguna del Parque Infantil Marco Romero Heredia (2°44'09.9"S, 78°51'03.6"W) posee una forma elíptica irregular y en su interior una pequeña isla circular. Fue construida con fines paisajísticos y recreativos en el año 1985; técnica y administrativamente depende del Departamento de Áreas Verdes y Jardines del GAD municipal de la ciudad de Azogues (Reinoso, 2016). Está abierta al público todos los días, además de ofrecer el servicio de



alquiler de canoas los días domingos. En épocas de carnaval es una tradición de la ciudad que los jóvenes ingresen a esta laguna para divertirse.



Ilustración 1 Ubicación del Parque Infantil Marco Romero Heredia.

3.2 Características de la laguna

Inicialmente esta laguna tenía el fondo y las paredes de tierra, por lo que generaba varios problemas en cuanto a la calidad del agua. En el año 2008 la estructura de la laguna fue mejorada, construyendo un fondo de hormigón (Reinoso, 2016).

En años posteriores a la renovación estructural de la laguna, aparecieron peces tipo carpa. Las autoridades responsables del mantenimiento de la laguna no saben el origen de estas especies; se supone que fueron sembrados por personas desconocidas, porque la laguna no fue diseñada con el fin de albergar peces (Arango, 2017).

Mediante levantamiento topográfico, se calculó un volumen de agua de 1473.96 m^3 a un nivel de agua promedio de 1.05 m de altura, un área del espejo de agua 1456.85 m^2 y un perímetro de 148.01 m. Además, el área y perímetro de la pequeña isla es 91.26 m^2 y 34.10 m respectivamente. En la Tabla 5 se resumen estas medidas.



Tabla 5 Características de la laguna del Parque Infantil Marco Romero Heredia

Parámetro	Medida
Volumen de la laguna	1473.96 m ³
Área del espejo de agua	1456.85 m ²
Perímetro de la laguna	148.01 m
Profundidad promedio	1.05 m
Área de la isla	91.26 m ²
Perímetro de la isla	34.10 m

La fuente de abastecimiento de la laguna es una vertiente de agua ubicado en el estadio de la Federación Deportiva del Cañar y a unos 200 metros de la laguna; el agua subterránea ingresa al sistema lagunar mediante una tubería corrugada PVC de 200 mm (ver Ilustración 2). Este sistema provee un abastecimiento continuo todos los días del año (“Se contratará estudios para extracción de agua subterránea a favor de la laguna del Parque Infantil”, 2010).

El exceso de agua en la laguna es evacuado mediante un pequeño canal de 40 cm de ancho, ubicado en la parte opuesta a la tubería de entrada, que vierte el agua a un sumidero conectado a un pozo de revisión. A este pozo de revisión se conectan tres tuberías de PVC, siendo dos de ellas destinadas para la evacuación del agua de la laguna, tanto para el exceso como para el vaciado y una tercera tubería descarga el agua proveniente de los baños de uso público del parque infantil. El agua recolectada en la alcantarilla se dirige al colector de aguas residuales más próximo (Arango, 2017).

El vaciado total del agua se realiza a través de un canal de 0.30 m de ancho, una longitud de 5.40 m y una pendiente de 2.32% (ver Ilustración 3). Este canal se conecta a una pequeña compuerta, la cual se abre solamente para el vaciado total de la laguna, el resto del tiempo se mantiene cerrado.

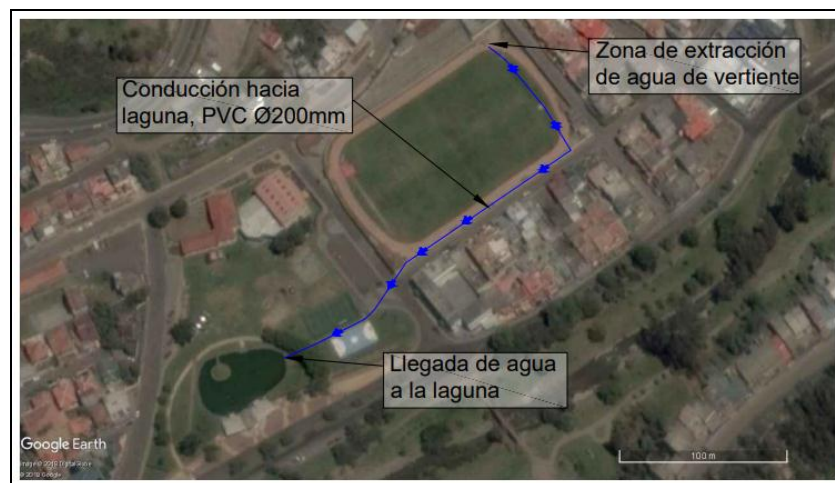


Ilustración 2 Conducción desde la vertiente hasta la laguna.

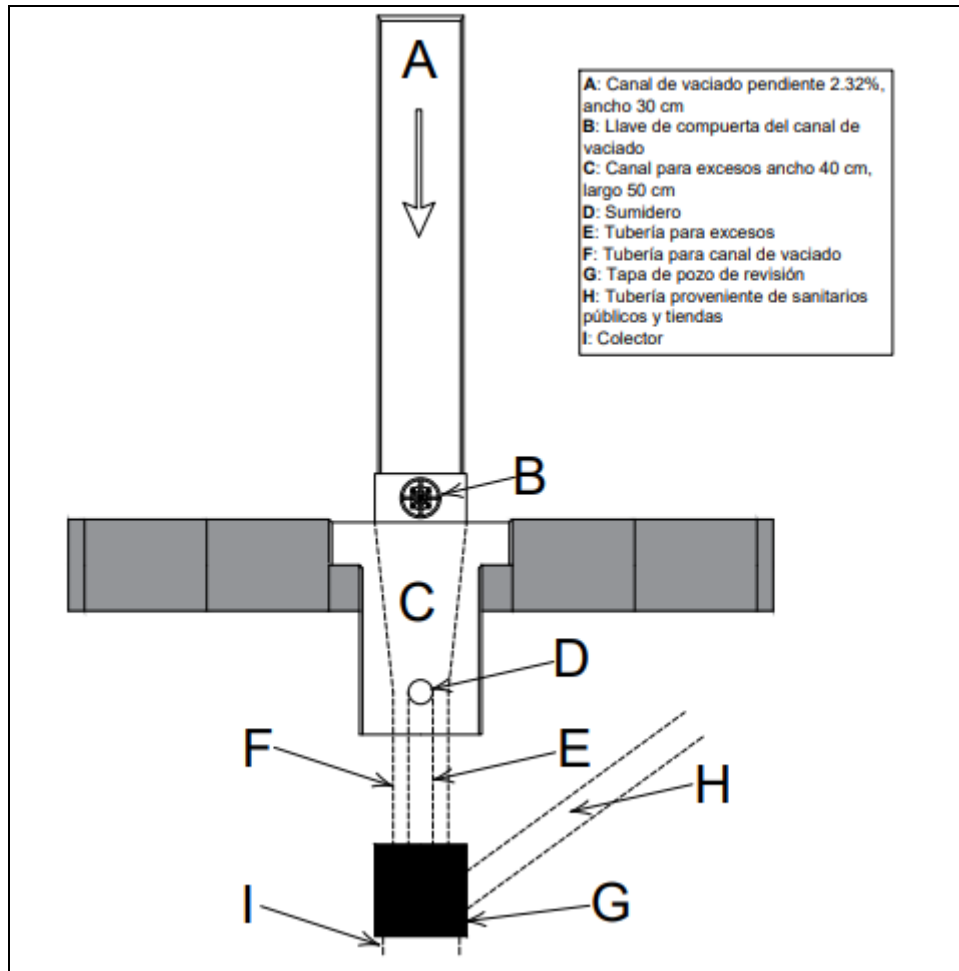


Ilustración 3 Esquema de canal para vaciado y canal para exceso de la laguna (vista en planta).

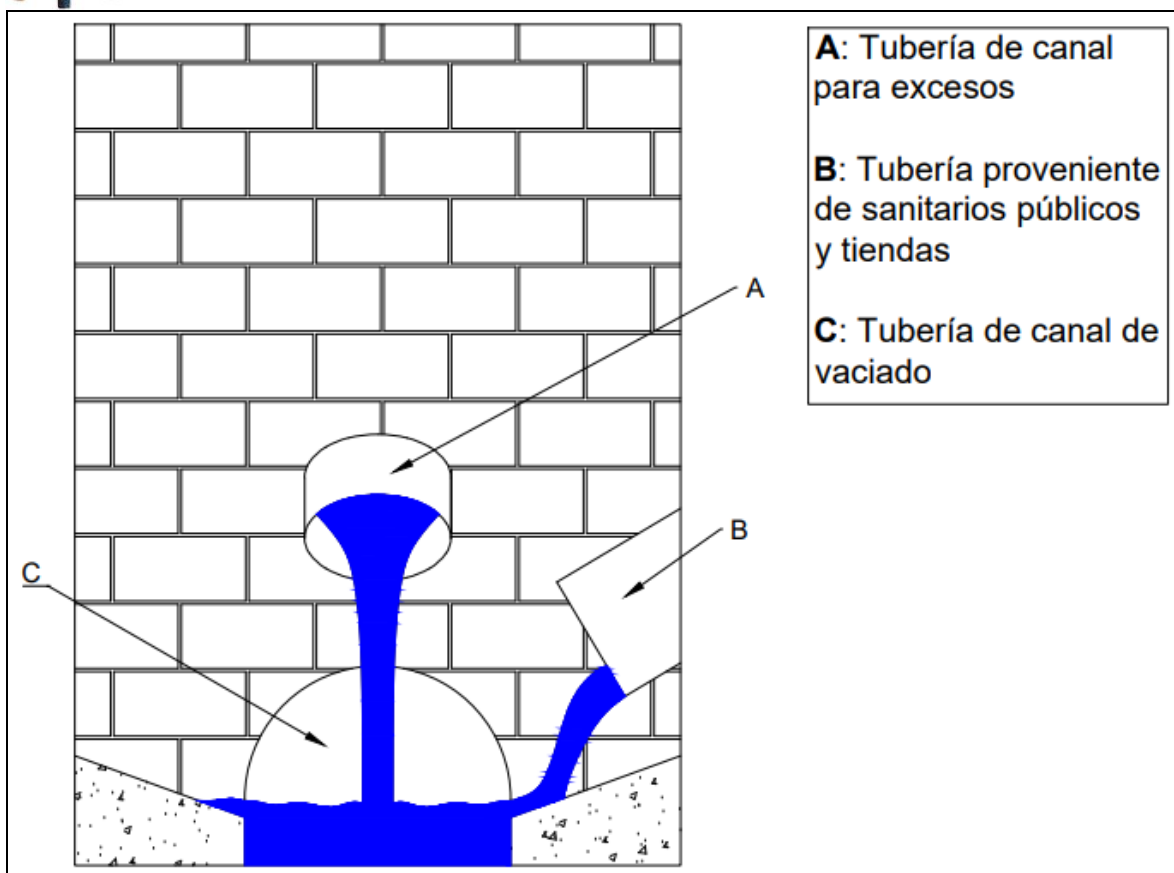


Ilustración 4 Llegada de tuberías al pozo de revisión.

A continuación, se presentan algunas fotografías del ingreso de agua a la laguna, el canal de vaciado y pozo de revisión.



Fotografía 1 Llegada de agua subterránea a la laguna.



Fotografía 2 Canal de evacuación para el exceso de agua.



Fotografía 3 Llegada de las tres tuberías hacia el pozo de revisión.

Tabla 6 Descripción de las tuberías conectadas al pozo de revisión.

Tubería	Origen
1	Exceso de agua de la laguna
2	Canal de vaciado de la laguna
3	Aguas servidas de baños públicos



Fotografía 4 Canal de vaciado de la laguna.

La laguna también cuenta en su interior con dos piletas, que son alimentadas mediante cuatro pequeñas captaciones laterales, de las cuales solo dos se encuentran en funcionamiento (ver Fotografía 5 y Fotografía 6), y una captación de fondo ubicada en la parte inferior de una pileta. El agua es transportada por una tubería de PVC, de 2 pulgadas de diámetro, hasta un filtro esférico que se conectaba originalmente a dos bombas hidráulicas de dos caballos de fuerza. Como se puede apreciar en la Ilustración 5, una de las dos bombas hidráulicas se encuentra averiada y desconectada, por lo que actualmente solo se utiliza una para bombear agua a las dos piletas; el funcionamiento de las piletas no tiene un horario de encendido establecido (Arango, 2017).



Fotografía 5 Captación lateral que está en correcto funcionamiento.



Fotografía 6 Captación lateral que no está en funcionamiento.

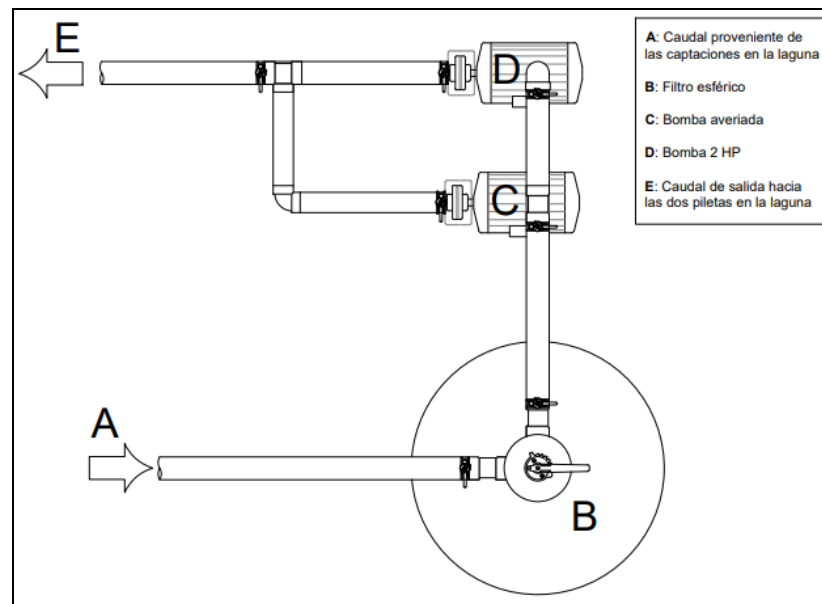


Ilustración 5 Cámara seca del sistema de bombeo para las piletas.

3.3 Mantenimiento de la laguna

Con el objeto de preservar la calidad del agua, eventualmente se adiciona alrededor de una libra de hipoclorito de calcio granulado al 65%; esta “desinfección” no es continua ni se lo hace con técnica establecida, no obstante sirve para aclarar y desinfectar el agua, además de funcionar como alguicida, fungicida y bactericida (Díaz, 2017). El personal de mantenimiento de la laguna indica que no se añade este compuesto de manera frecuente debido a que no se observa que la calidad del agua mejore (Arango, 2017).



Universidad de Cuenca

La limpieza de basura flotante en la laguna se realiza de lunes a viernes con un limpiador de piscina, siendo los días lunes los que presentan mayor cantidad de basura debido a la mala costumbre de la gente durante los fines de semana (Arango, 2017).

En cuanto a la limpieza de fondo se realiza vaciando completamente la laguna, para que pueda ingresar el personal y retirar los sedimentos mediante palas. Se ha realizado la limpieza de fondo en los años 2010, 2012 (“Realizan limpieza de la laguna del Parque Infantil ‘Marco Romero Heredia’”, 2012) y 2017; la última limpieza fue solicitada por parte de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca con el fin de realizar los estudios pertinentes para la elaboración del presente trabajo de titulación. Los sedimentos evacuados son llevados mediante volquetas hasta el relleno sanitario de Chavay, ubicado a las afueras de la ciudad de Azogues (Arango, 2017).



Fotografía 7 Fondo de la laguna antes de la limpieza.



Fotografía 8 Personal de mantenimiento culminando con la limpieza de fondo.

No se lleva a cabo ningún monitoreo ni control de calidad de agua por parte de los departamentos encargados.



3.4 Muestras y campañas de monitoreo

3.4.1 Aspectos generales del muestreo

Se identificaron cinco estaciones de muestreo en el cuerpo de agua en lugares estratégicos para el análisis de los parámetros a considerar; se realizaron 7 campañas de monitoreo (cada una con cinco estaciones) desde marzo de 2017 a enero de 2018, con el fin de obtener resultados en diferentes periodos climatológicos.

3.4.2 Estaciones de Muestreo

Las estaciones de monitoreo fueron seleccionadas de tal manera que se disponga de muestras representativas de la calidad de agua de la laguna, como se muestra en la Tabla 7.

Las estaciones 1 y 5 corresponden a la entrada y salida del agua en la laguna; las estaciones 2, 3 y 4 corresponden a sitios en donde la calidad visiblemente se muestra deteriorada por la presencia de espuma y material orgánico flotante.

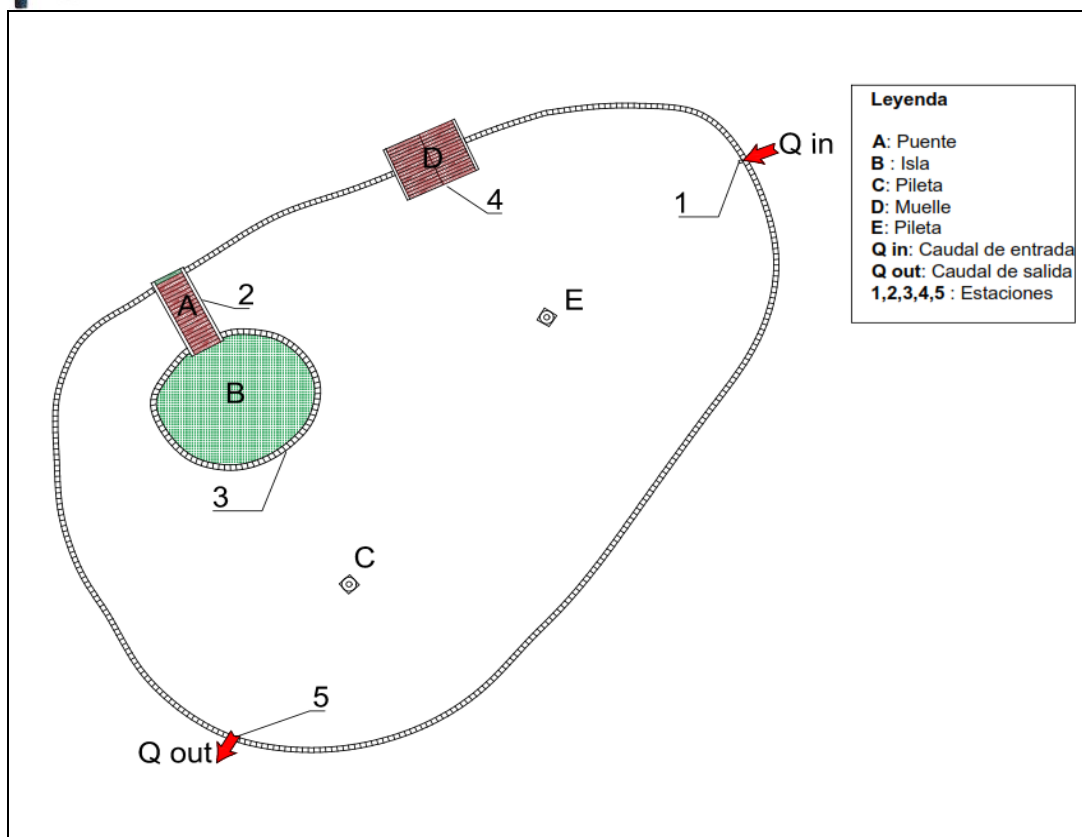


Ilustración 6 Ubicación de las estaciones de muestreo alrededor del cuerpo lagunar.

Tabla 7 Estaciones de muestreo dentro de la laguna.

Estación	Descripción
1	Entrada laguna
2	Junto a la Isla
3	Bajo el puente
4	Muelle
5	Salida laguna

3.4.3 Campañas de monitoreo

De las siete campañas de monitoreo, seis de ellas antes de que se evacuara la laguna, en tanto que la séptima, luego de realizada la limpieza de fondo y llenada nuevamente.

Para el análisis de las características físico-químicas y microbiológicas, como: fósforo, amonio, microorganismos, y demanda bioquímica de oxígeno, se utilizaron los recursos descritos en la



Tabla 8

Tabla 8 Recursos utilizados para toma de muestras.

Recurso	Tipo de análisis
Pomos plásticos de 1 galón	Físico-químico
Frasco de vidrio tapa rosca de 100 ml	Fósforo y amonio
Frasco de vidrio tapa rosca de 500 ml	Bacteriológico
Frasco Winkler de 300 ml	DBO ₅

Una vez recolectadas las muestras y preservadas apropiadamente, fueron analizadas en el Laboratorio Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca.

Para las mediciones *in situ* como: temperatura, oxígeno disuelto y clorofila se utilizó una sonda multiparamétrica marca YSI modelo EXO-2. Esta sonda mide los siguientes parámetros: temperatura, conductividad, profundidad, oxígeno disuelto, pH, ORP, algas totales (clorofilas y algas verde-azules) y turbiedad (“YSI EXO2”, 2017).

El valor de saturación de oxígeno disuelto en el agua, depende de la altura sobre el nivel del mar a la cual esté ubicado el cuerpo de agua, así como de la temperatura del agua. Por lo tanto, se realizaron interpolaciones simples para encontrar este valor, se utilizó la tabla que se muestra en el Anexo 10.

Tabla 9 Rangos, precisión y resolución de la sonda EXO-2 (“YSI EXO2”, 2017).

Parámetro	Rango	Precisión	Resolución
Temperatura	-5 a 50C	de -5 a 35: 0.01C, de 35 a 50: 0.05C	0.001 °C
Oxígeno Disuelto	0 a 50mg/L	de 0 a 20mg/l: 1% de la lectura o 0.1mg/l, de 20 a 50 mg/l: 5% de la lectura	0.01mg/l
Clorofila	0-100 RFU, 0-400ug/L	-	0.01RFU, 0.01ug/l

Estas mediciones *in situ* se realizaron a tres distintas profundidades en cada uno de las estaciones.

Tabla 10 Profundidades a las que se tomaron las mediciones *in situ*.

Profundidad	Entrada laguna	Junto a la isla	Bajo el puente	Muelle	Salida laguna
Superficie (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Medio (m)	0.40	0.50	0.50	0.45	0.45
Fondo (m)	0.80	1.03	0.95	0.90	0.88

Además, se tomó una muestra al inicio de la conducción del agua cruda y otra al final de la conducción.



3.5 Medición de caudales

Se utilizó dos métodos básicos para la determinación de caudal, el método volumétrico para el caudal de entrada y el método velocidad/superficie para el caudal de salida.

3.5.1 Método volumétrico

Para la medición en campo del caudal de ingreso a la laguna se utilizó en método volumétrico. Este método es recomendable para caudales pequeños, consiste en medir el tiempo de llenado de un recipiente de volumen conocido. La variación entre diversas mediciones efectuadas sucesivamente dará una indicación de la precisión de los resultados (Hudson, 1993).

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

Q = caudal (m³/s),

V = volumen (m³),

t = tiempo (s).

La medición de caudal fue repetida 5 veces en cada campaña de muestreo. Luego se obtuvo el caudal promedio para cada una de las campañas.

3.5.2 Método de velocidad/superficie

La medición de caudal de salida se realizó mediante el método de velocidad/superficie. Este método depende la medición de la velocidad media de la corriente y el área transversal del canal calculándose con la siguiente fórmula:

$$Q = AV \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde,

Q = caudal (m³/s),



V = velocidad (m/s),

A = área (m^2).

Para determinar la velocidad media del canal se midió el tiempo en que un objeto flotante de polietileno expandido (espuma *flex*) en el cual recorrió, corriente abajo una distancia conocida. Se debe aplicar un factor de corrección de 0.8 a la velocidad, para tener una mejor aproximación de la misma. (Hudson, 1993).

Esta medida se realizó 5 veces por cada campaña de muestreo, posteriormente se calculó el valor del caudal promedio.

3.6 Topografías y batimetrías

El levantamiento topográfico del fondo de la laguna se realizó mediante el método de radiación, el cual es recomendable para áreas relativamente pequeñas (Torres & Villate, 1968).

Este método consiste en que a partir de un punto fijo situada la estación total, se van realizando radiaciones hacia distintos puntos de interés para realizar el levantamiento, tomando en cuenta todos los obstáculos presentes (Casanova, 2002).

El procedimiento se realizó con la ayuda de una estación total marca *Trimble* modelo *M3* con precisión de 5" y un GPS marca *Trimble* modelo *R4* con una precisión de < 1 mm para la georreferenciación.

Se ubicó una estación en la isla, donde se montó la estación total, y se comprobó que desde este punto se tenía buena visibilidad del perímetro y superficie de la laguna. La ubicación de la estación fue la ideal para la realización del levantamiento topográfico mediante el método de radiación. El levantamiento se realizó en dos días diferentes, uno para el fondo y perímetro, y otro para los detalles del fondo.

El levantamiento para la determinación de la superficie del fondo de la laguna se llevó a cabo cuando ésta estaba llena, siendo necesario utilizar un traje de protección personal al momento de sumergirse (ver Fotografía 9, Fotografía 10 y Fotografía 11).

El levantamiento de detalles en el fondo de la laguna, como en el canal de lavado, se hizo una vez vaciada la laguna. Este canal no era visible cuando estaba llena debido a la gran turbiedad del agua.

Se levantó un total de 370 puntos, los cuales fueron exportados para ser procesados en el *software* de diseño, asistido por computadora *Autocad Civil 3D* versión 2016 para la



Universidad de Cuenca

modelación de la superficie de fondo, determinación de perímetro, área, profundidades y volumen de agua de la laguna.



Fotografía 9 Levantamiento topográfico de la laguna.



Fotografía 10 Levantamiento topográfico de la laguna.



Fotografía 11 Levantamiento topográfico de la laguna.

Para la batimetría se estableció un nivel de agua promedio. Luego con la ayuda del mismo *software* descrito anteriormente se introdujo este nivel de agua en el modelo de la laguna. Una vez modelada la superficie y el nivel de agua en la misma, se procedió con la realización de cinco perfiles batimétricos en el eje largo de la laguna y cuatro en el eje corto. Estos perfiles indican las diferentes profundidades a lo largo de la laguna.

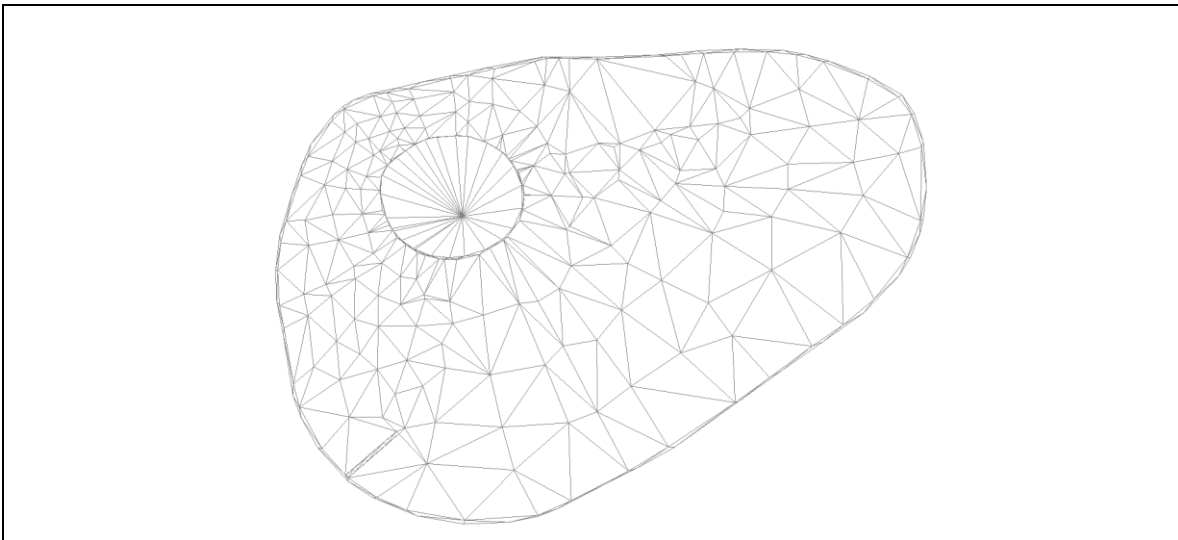


Ilustración 7 Red de triangulación de la laguna.

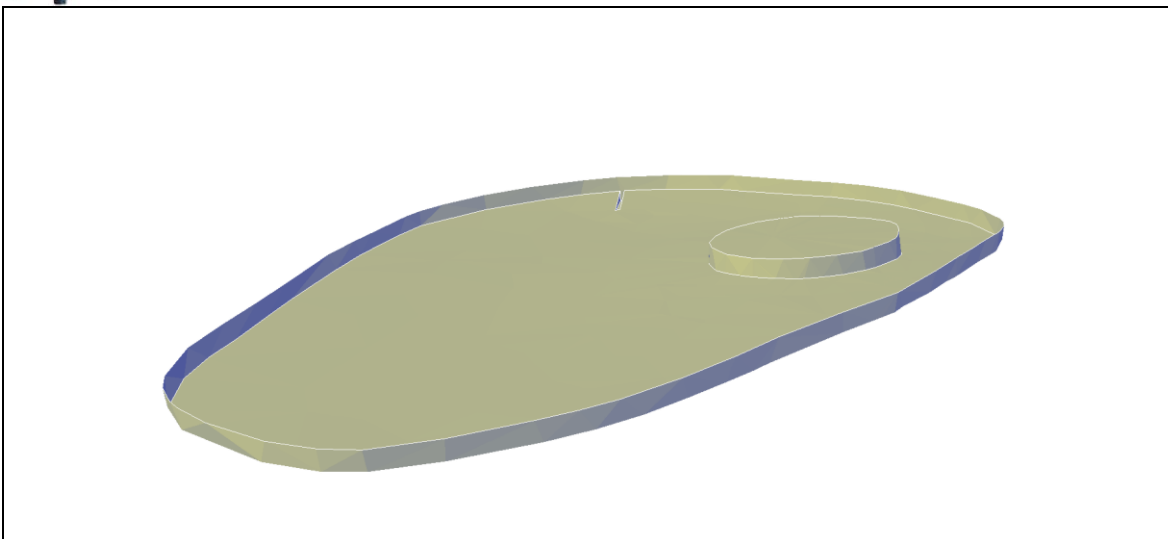


Ilustración 8 Modelo de la laguna obtenido mediante la topografía realizada.

3.7 Vaciado de laguna

Se consideró necesario analizar los sedimentos depositados en el fondo de la laguna con el fin de encontrar su composición y si estos interfieren en la calidad de agua de la laguna.

Se gestionó con el departamento de Obras Públicas del GAD municipal de la ciudad de Azogues para el vaciado de la laguna. Esta operación no se había realizado desde hace aproximadamente cinco años, siendo la última vez en junio de 2012. El vaciado se realizó a través de un canal ubicado en la salida de agua de la laguna, abriendo una pequeña compuerta que permite al canal evacuar el agua hacia el colector.

La laguna tardó alrededor de dos días en vaciarse. Cabe recalcar que la laguna no se vació en su totalidad debido a que el fondo de la misma presenta una concavidad, en la cual se queda estancada el agua.

3.8 Altura de sedimentos

Una vez vaciada la laguna, antes de que se realice la limpieza de fondo, se procedió a medir la altura de los sedimentos acumulados. Para esto fue necesario ingresar a la laguna y con la ayuda de un flexómetro se midió la altura alcanzada en diferentes puntos. En total se midieron y registraron la altura en 220 puntos.



Se calculó los valores máximos, mínimos y promedio alcanzados por el sedimento acumulado. Con el valor promedio se procedió a estimar el volumen de sedimento acumulado en todo el fondo, multiplicando este valor por el área de la laguna.



Fotografía 12 Medición de altura de sedimentos.

3.9 Análisis químico de los sedimentos

El análisis químico de los sedimentos se realizó en el Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca; el objetivo fundamental de estos ensayos, fue conocer la composición de los lodos, y vincularlo con la calidad del agua en la laguna.

3.10 Análisis granulométrico de los sedimentos

Para el análisis granulométrico de los sedimentos se procedió a secar las muestras en el horno. Una vez seco el material se deshizo los terrones formados para poder realizar el tamizado; cabe recalcar que no se logró deshacer completamente el material, quedaron pequeños grumos de sedimentos que se retuvieron en el tamiz Nro. 200 (0.075mm). Estos grumos fueron separados y descartados para este análisis por no considerarlos representativos de los lodos a estudiar.

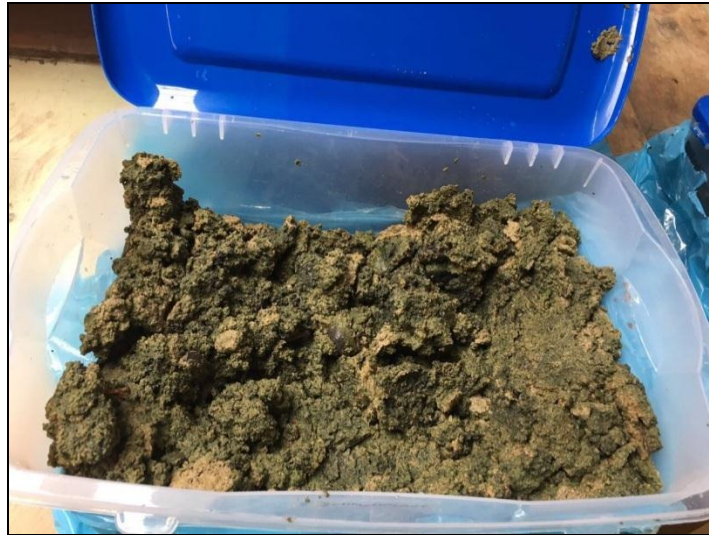


Como el tamaño de las partículas era menor a 0.075mm se procedió a realizar el análisis granulométrico por medio del hidrómetro, especificado por la norma (ASTM D422-63, 2007). Este análisis se basa en la Ley de Stokes, la cual relaciona la velocidad de una esfera, cayendo libremente a través de un fluido, con el diámetro de la esfera. Para realizar este procedimiento se necesitó conocer la gravedad específica G_s de los sedimentos y humedad de la muestra. Para determinar estos valores se siguió las normas (ASTM C128-15, 2015) y (ASTM C566-13, 2013).

Para el ensayo granulométrico mediante el hidrómetro, primero se realizó las debidas correcciones de menisco, floculante y temperatura. Luego una muestra de 50 gramos de sedimentos que pasó el tamiz Nro. 200, se introdujo en una probeta de 1000 ml, la que contenía 250 ml de floculante (hexafosfato de sodio) y se dejó en reposo por una noche. Luego, se llenó la probeta con agua destilada hasta completar los 1000 ml y se realizó el procedimiento especificado por la norma citada anteriormente, tomando medidas a los 1, 2, 5, 15, 30, 60, 120, 240 y 1140 minutos.



Fotografía 13 Toma de muestra de sedimento para análisis.



Fotografía 14 Muestra de sedimento tomada.



Fotografía 15 Muestra de sedimento luego de ser secada.

3.11 Determinación del estado trófico

3.11.1 Estimación de transparencia de la columna de agua

Debido a que no se dispuso de Disco de Secchi para determinar el valor de la transparencia de la columna de agua, se utilizó un modelo matemático (USGS, 2016) que permite estimar este valor en función de la turbiedad.

$$DS = 11.123 * Tbd^{-0.637}$$

Ecuación 3



Donde,

DS = Medida estimada de transparencia de la columna de agua de Disco de Secchi en pies,

Tbd = Turbiedad (UTF).

3.11.2 Índice de La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE)

El estado trófico mediante el índice OCDE, se consideró según lo establecido en la Tabla 3.

3.11.3 Índice de Carlson

El índice de estado trófico de Carlson se determinó mediante las siguientes ecuaciones (Carlson, 1977):

$$IET(DS) = 10\left(6 - \frac{\ln(DS)}{\ln(2)}\right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde,

IET (DS) = Índice de estado trófico de Carlson según la transparencia de la columna de agua,

DS = Medida estimada de transparencia de la columna de agua de Disco de Secchi en metros.

$$IET(Cl\ "a") = 10\left(-\frac{2.04 - 0.68\ln(Cl\ a)}{\ln(2)}\right) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde,

IET (Cl "a") = Índice de estado trófico de Carlson según la clorofila α ,

Cl "a" = Clorofila α en $\mu\text{g/l}$.



$$IET(TP) = 10\left(6 - \frac{\ln\left(\frac{TP}{48}\right)}{\ln(2)}\right)$$

Ecuación 6

Donde,

IET (TP) = Índice de estado trófico de Carlson según el fósforo total,

TP = Clorofila fósforo total en mg/l.

Los valores de los índices obtenidos se compararon con los de la Tabla 4 para determinar el grado de trofia del agua en la laguna.

3.12 Análisis bidimensional de flujos

Para encontrar los flujos preferenciales, velocidad y número de Froude, se utilizó el *software* de modelación hidráulica *Iber* v.2.3.2.

Se hizo uso del módulo de Hidrodinámica de *Iber*, que resuelve las ecuaciones de aguas superficiales promediadas en profundidades bidimensionales, también conocidas como ecuaciones de ST. Venant 2D. Dichas ecuaciones asumen las hipótesis de distribución de presión hidrostática y distribución uniforme de velocidad en profundidad, siempre y cuando no existan procesos relevantes de estratificación debido a diferencias de salinidad, de temperatura o al viento (*Iber*, s/f-a)

El modelo de malla no estructurada bidimensional de la laguna, se realizó transformando la red de triangulación de la superficie del fondo obtenido con la topografía, a un modelo digital de elevaciones (DEM). Luego para introducir el DEM en el *software*, mencionado previamente, fue necesario convertir este modelo a un mapa de caracteres ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*).

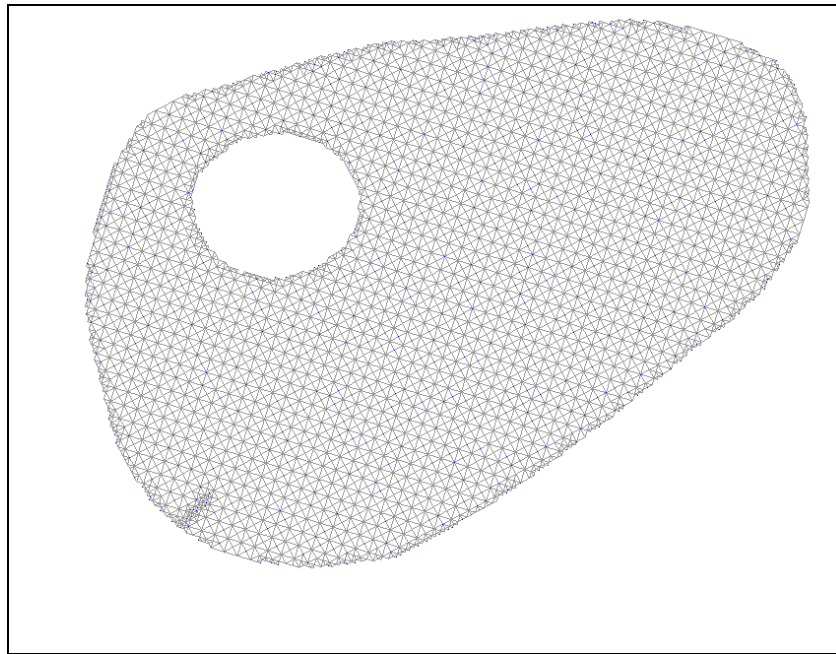


Ilustración 9 Malla no estructurada del fondo de la laguna.

Para la simulación del modelo hidráulico bidimensional del flujo en la laguna se establecieron las siguientes condiciones de contorno e iniciales.

- **Condiciones de contorno**

1. Ubicación y aporte promedio del caudal de entrada de la tubería que abastece a la laguna. El caudal promedio de ingreso fue de 0.31 l/s.
2. Ubicación y cota del canal de salida de agua de la laguna.

- **Condiciones iniciales**

1. Cota del nivel de agua presente en la laguna.
2. Rugosidad del revestimiento de la laguna, en este caso hormigón con un coeficiente de Manning de 0.017 (Chow, 1998).

Luego de establecidas las condiciones, se procedió a simular el modelo un periodo de 15 días, la simulación duró aproximadamente 30 horas. Se obtuvo la velocidad y el número de Froude en las diferentes zonas de la laguna.

4. RESULTADOS

4.1 Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos

Los valores de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua de la laguna, se pueden observar a detalle en el Anexo 6. A continuación, se presentan en diagramas de



líneas, los datos obtenidos durante las campañas de muestreo, de los parámetros establecidos en la normativa de referencia.

4.1.1 Clorofila

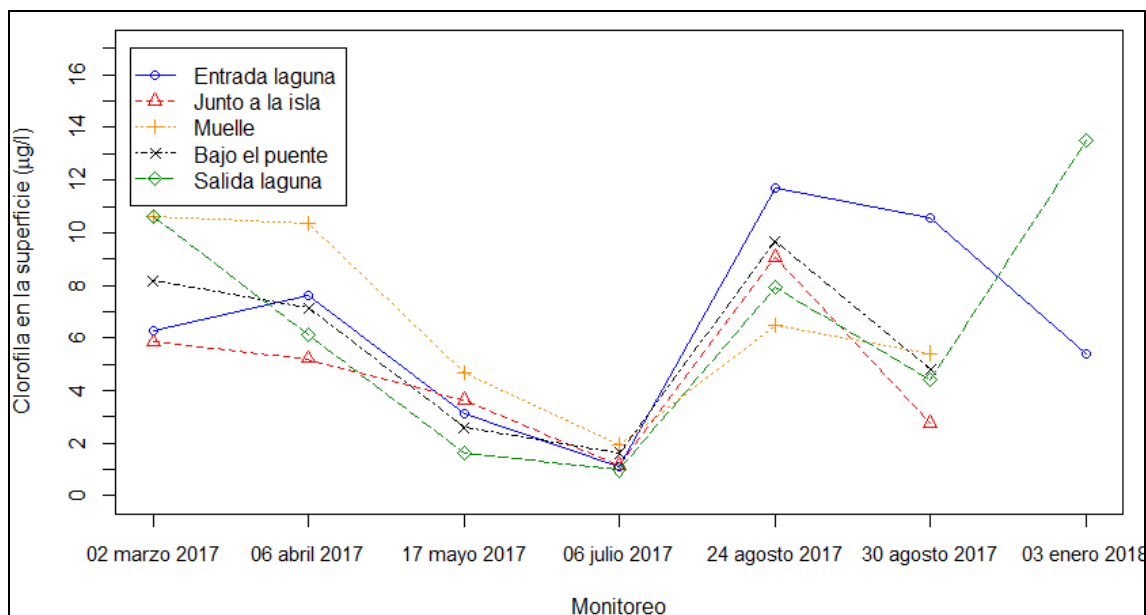


Ilustración 10 Clorofila medida in situ en la superficie de la laguna.

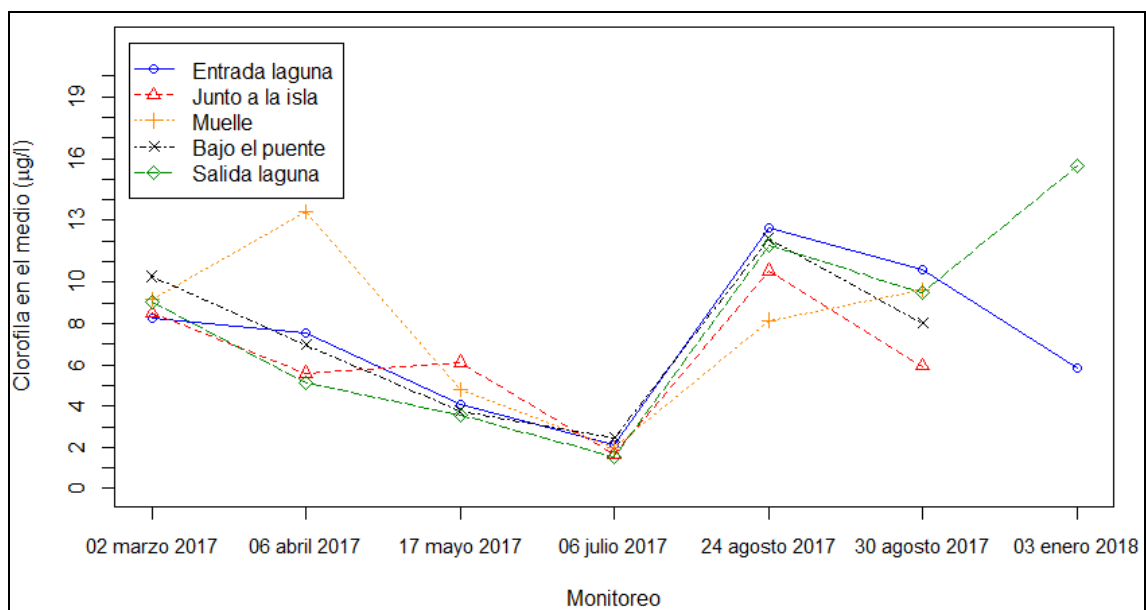


Ilustración 11 Clorofila medida in situ a profundidad media de la laguna.

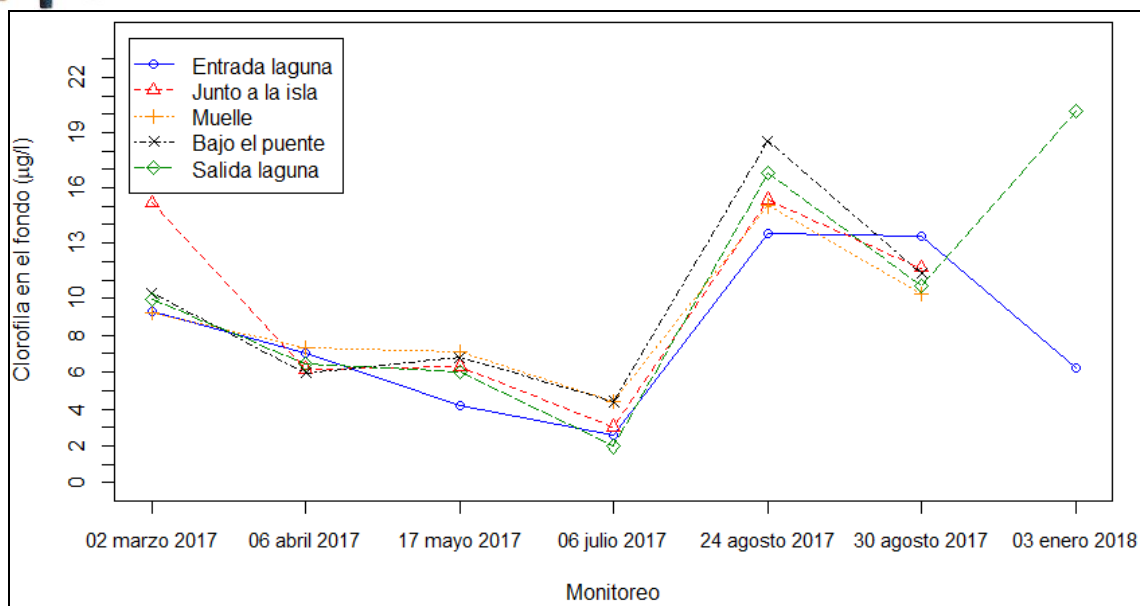


Ilustración 12 Clorofila medida in situ en el fondo de la laguna.

4.1.2 Turbiedad

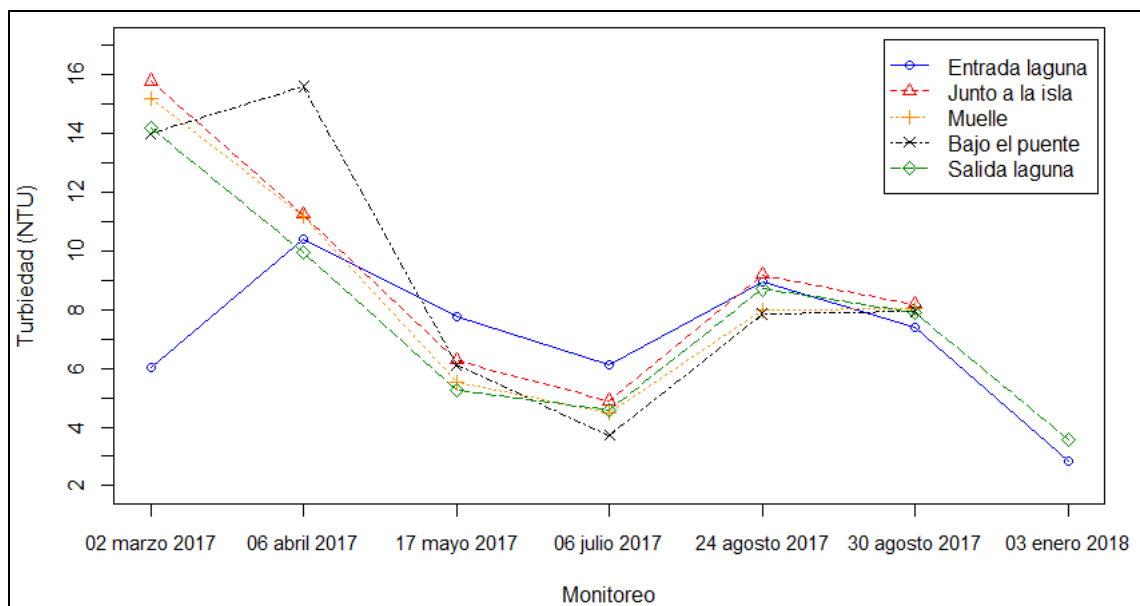


Ilustración 13 Resultados del análisis de turbiedad de las muestras.



4.1.3 Color aparente y color real

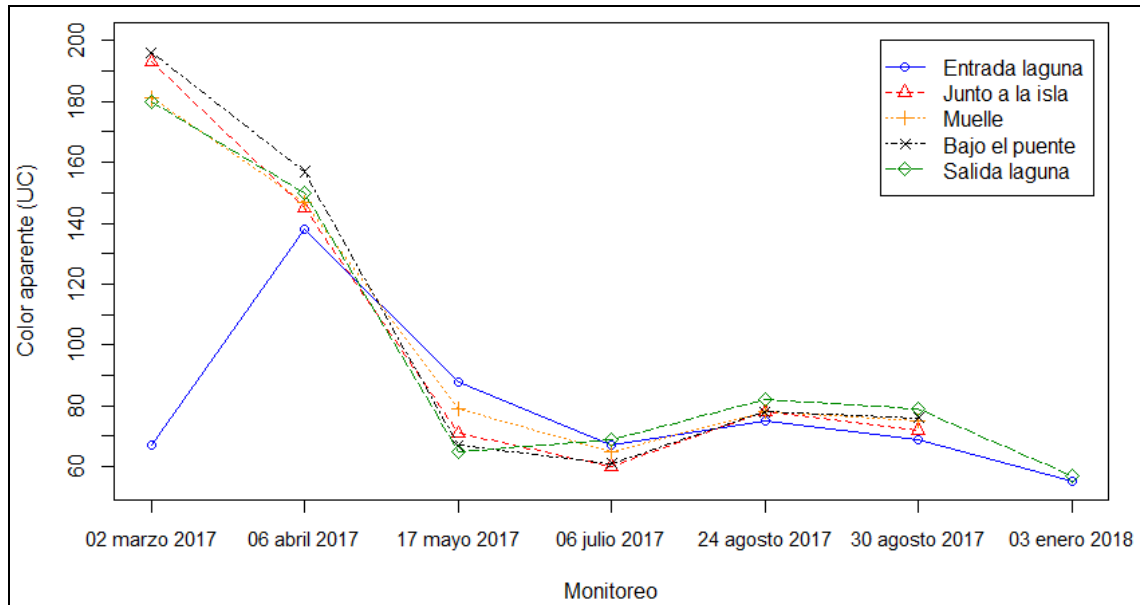


Ilustración 14 Resultados del análisis de color aparente de las muestras.

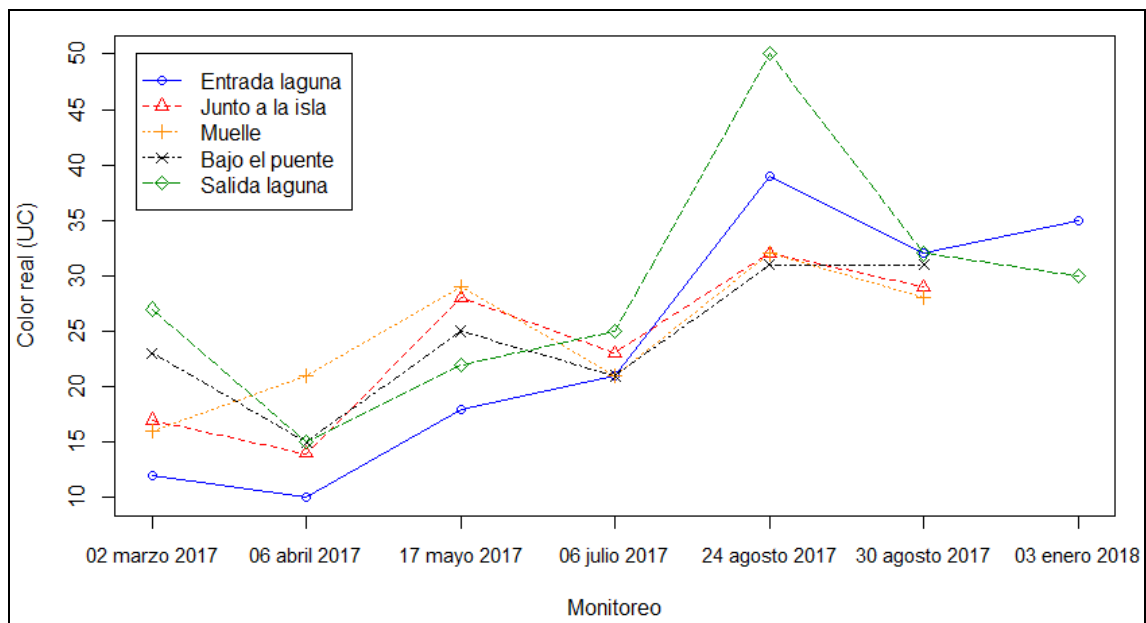


Ilustración 15 Resultados del análisis de color real de las muestras.



4.1.4 pH

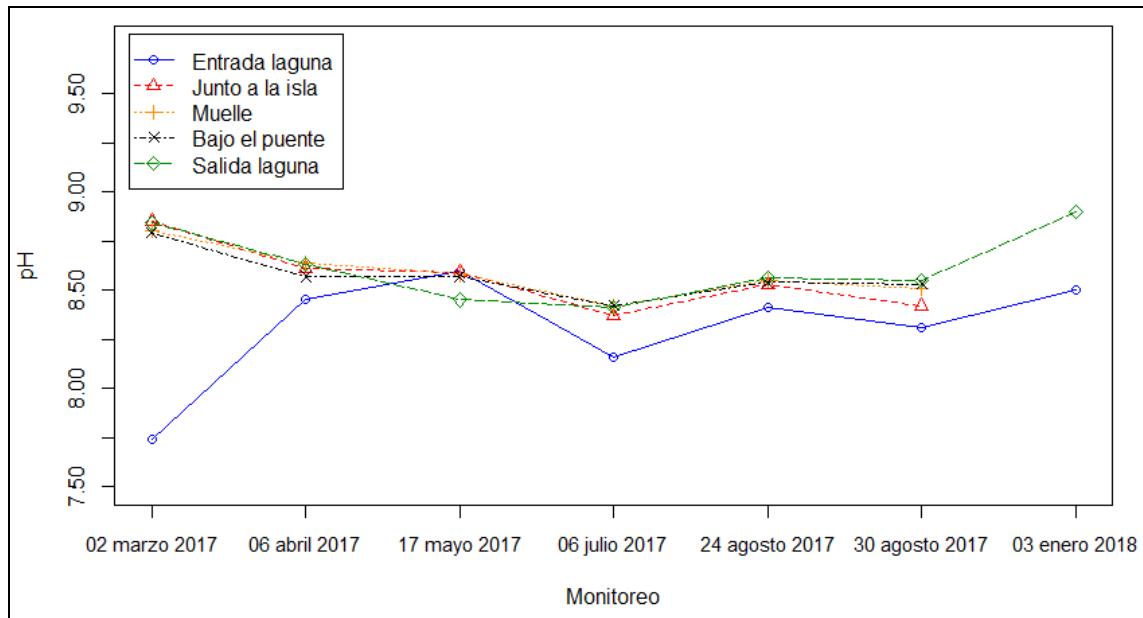


Ilustración 16 Resultados del análisis de pH de las muestras.

4.1.5 Coliformes totales

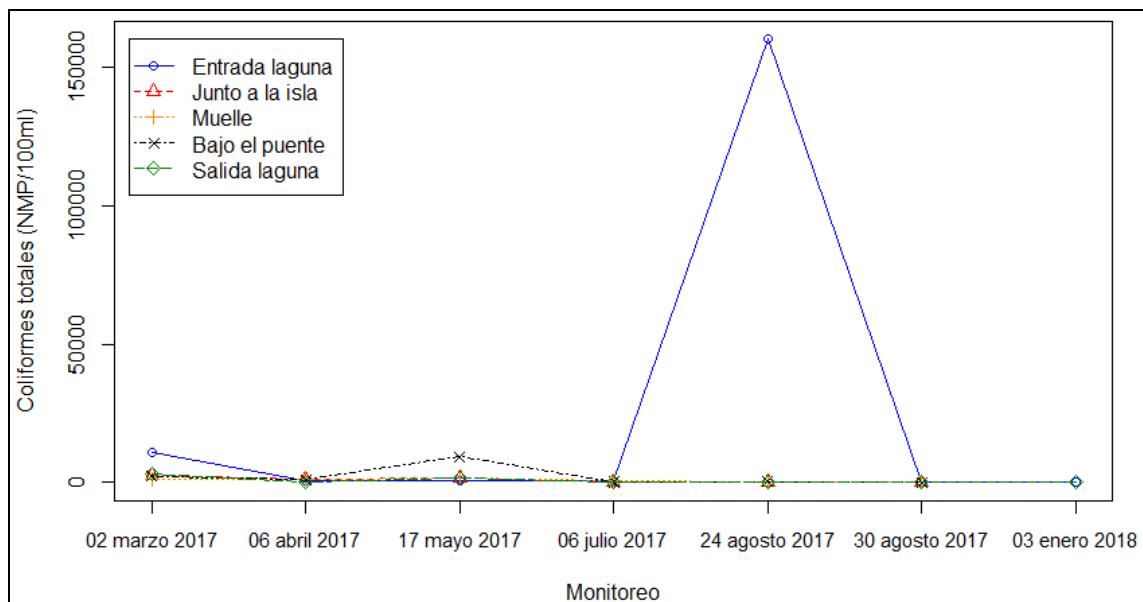


Ilustración 17 Coliformes totales calculados en las muestras de agua de la laguna.

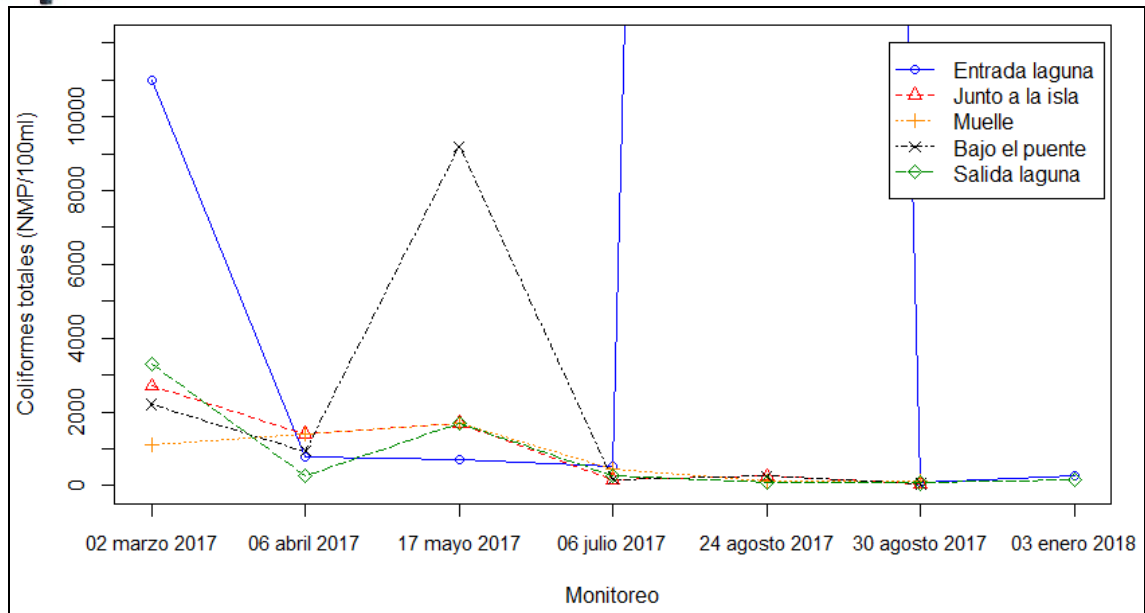


Ilustración 18 Ampliación del diagrama de coliformes totales.

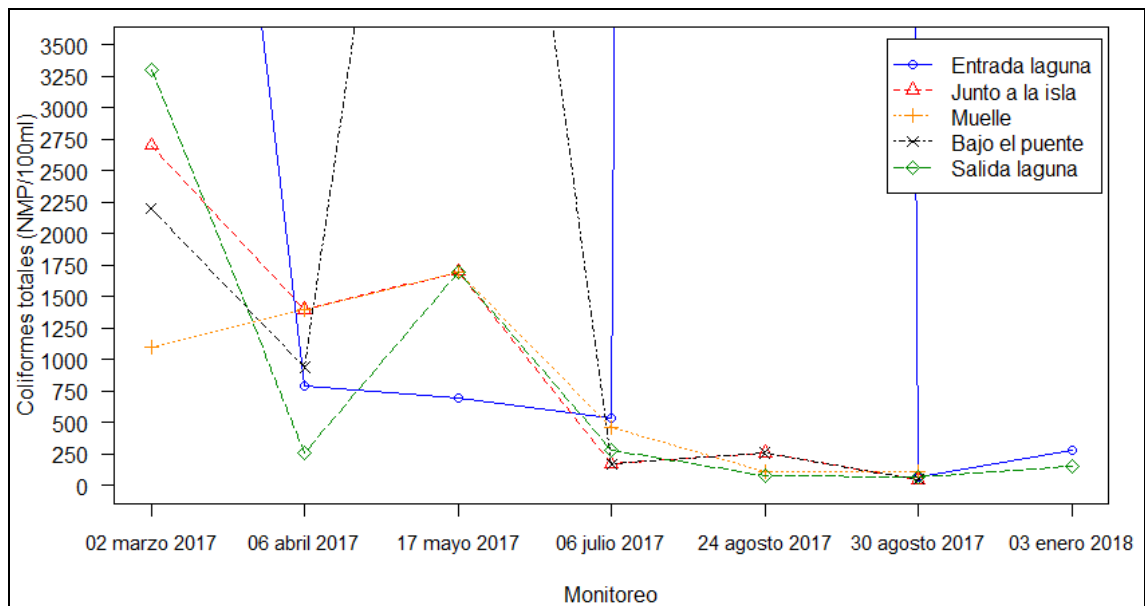


Ilustración 19 Ampliación del diagrama de coliformes totales.



4.1.6 E. Coli

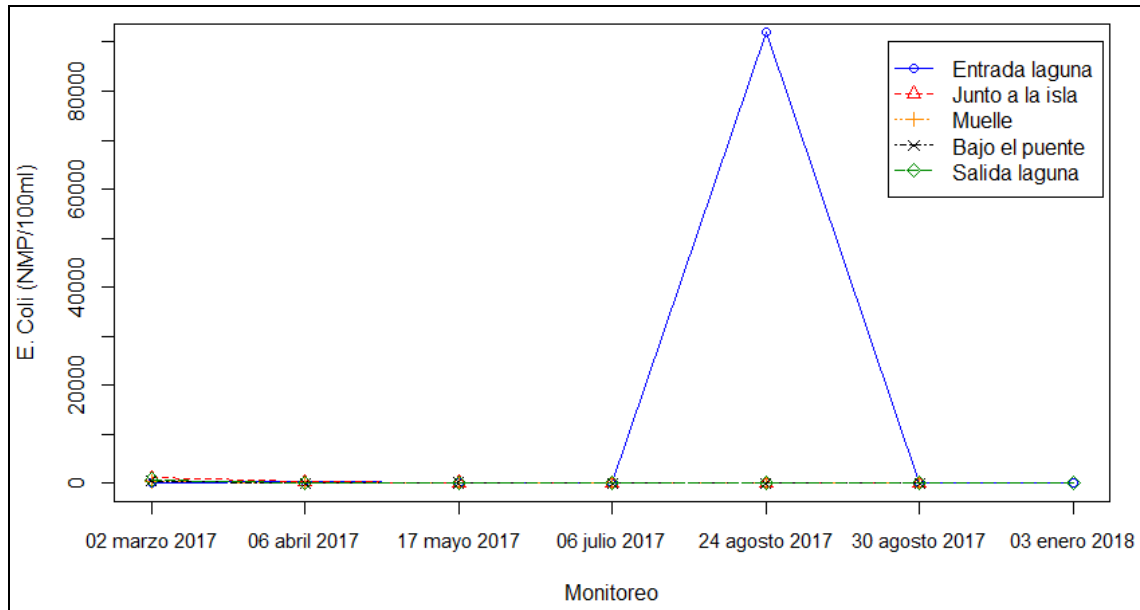


Ilustración 20 E. Coli calculado en las muestras de agua de la laguna.

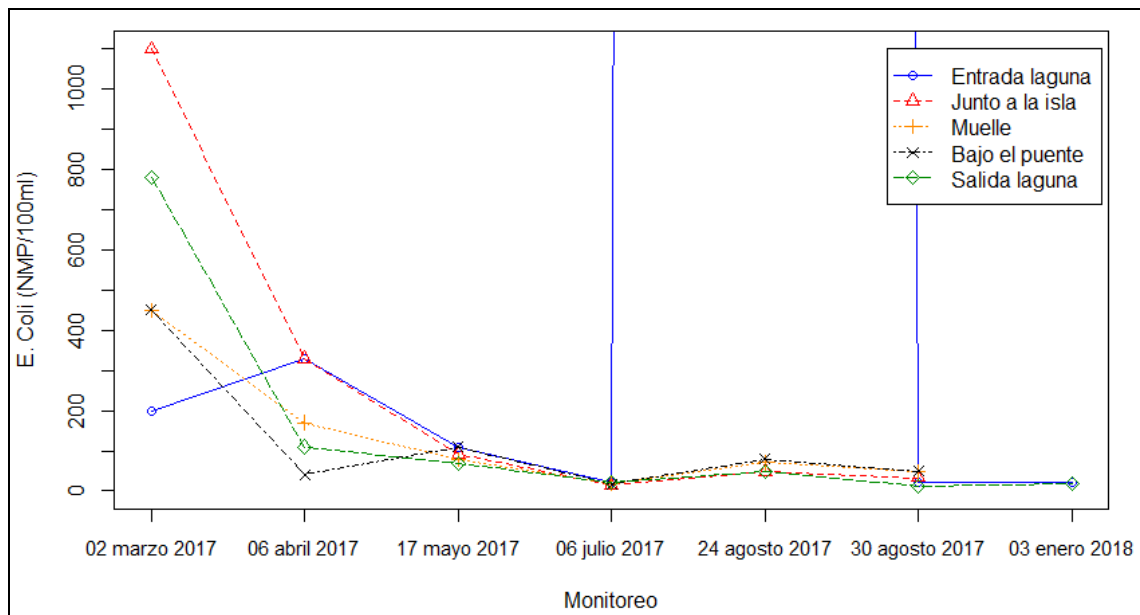


Ilustración 21 Ampliación del diagrama de E. Coli.

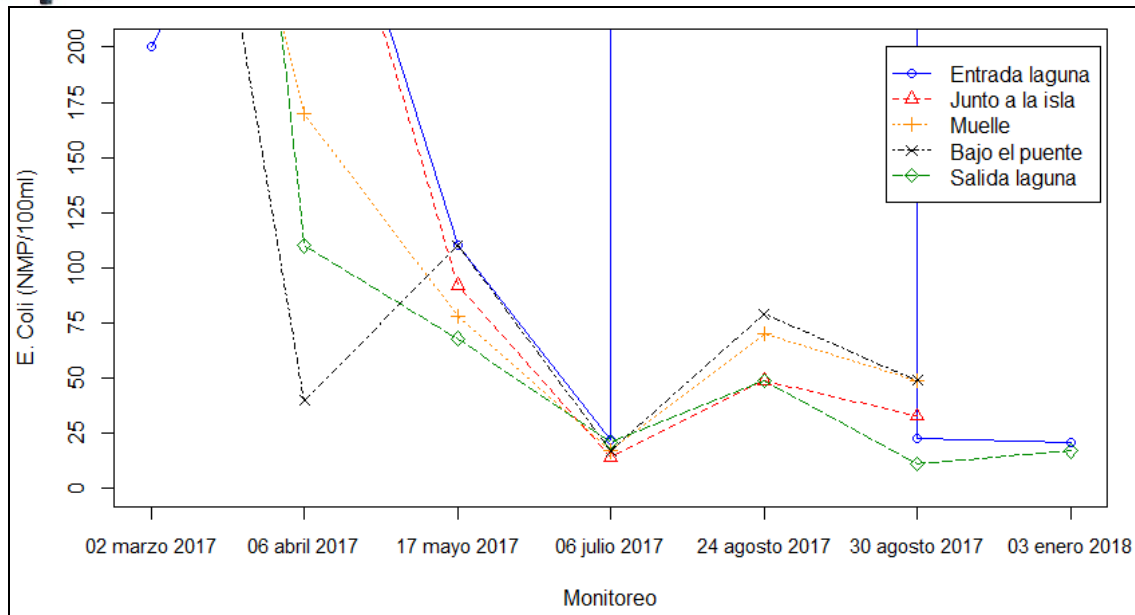


Ilustración 22 Ampliación del diagrama de E. Coli.

4.1.7 Fósforo

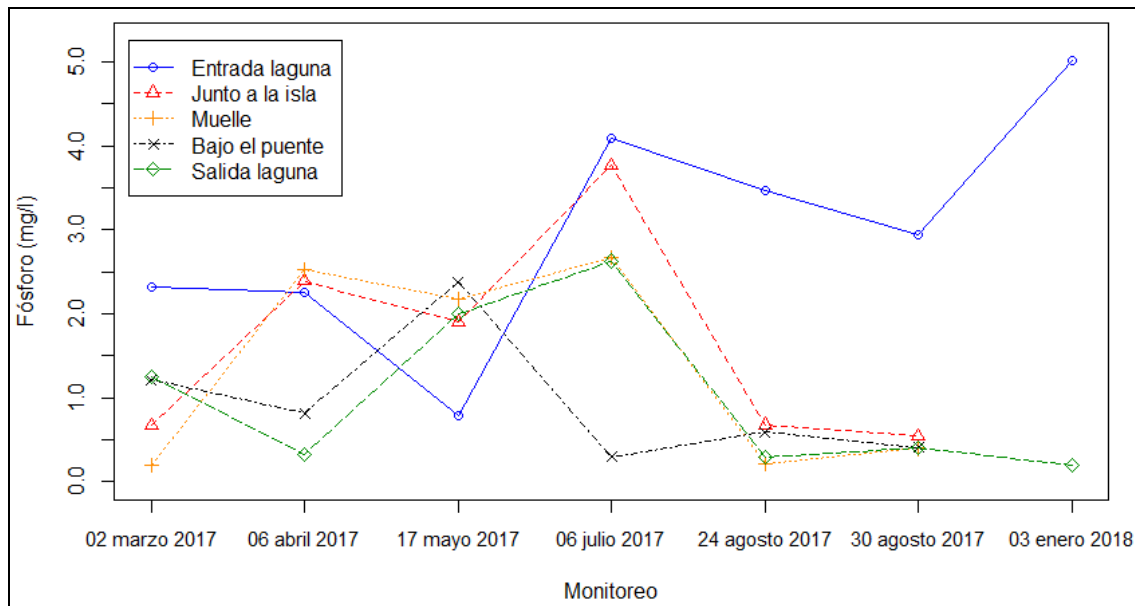


Ilustración 23 Resultados de los análisis de fósforo de las muestras.



4.1.8 Nitrógeno

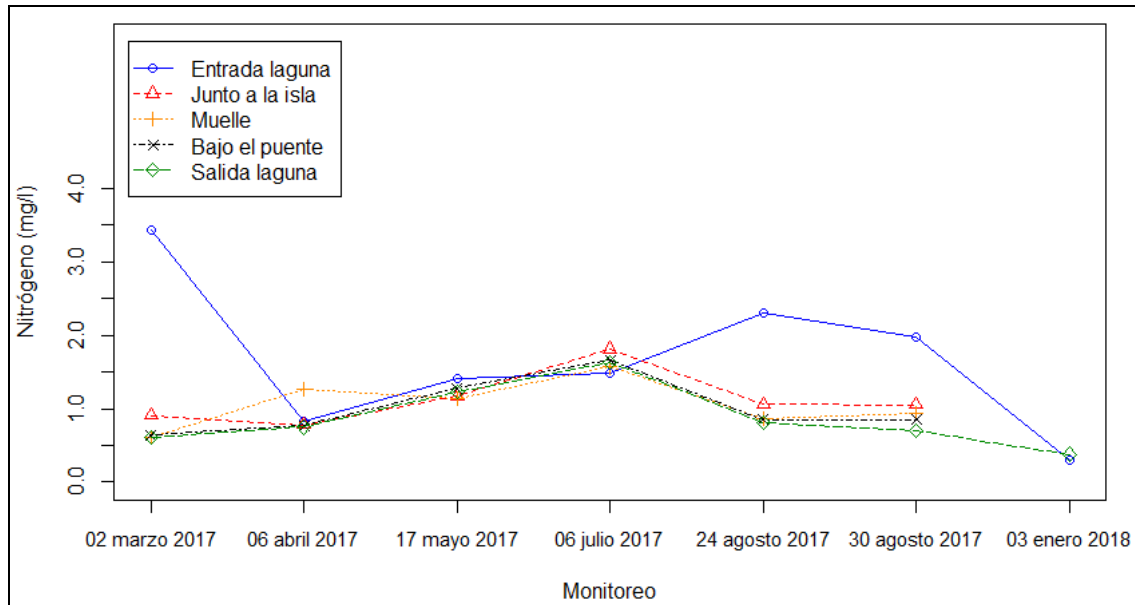


Ilustración 24 Resultados de los análisis de nitrógeno de las muestras.

4.1.9 Oxígeno Disuelto

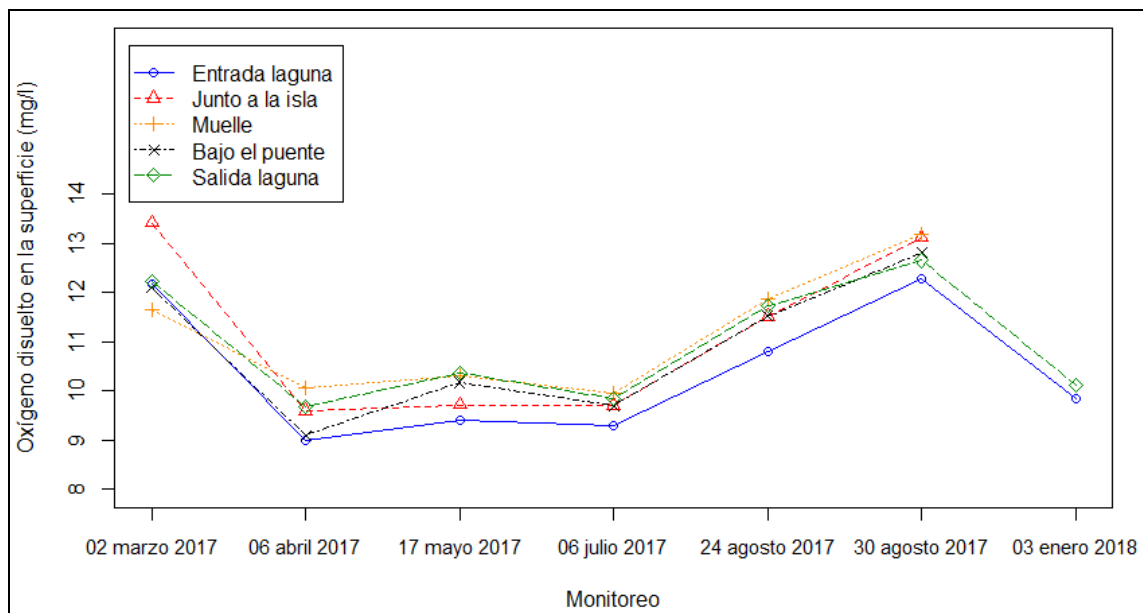


Ilustración 25 Oxígeno disuelto, medido in situ, de la superficie de la laguna.

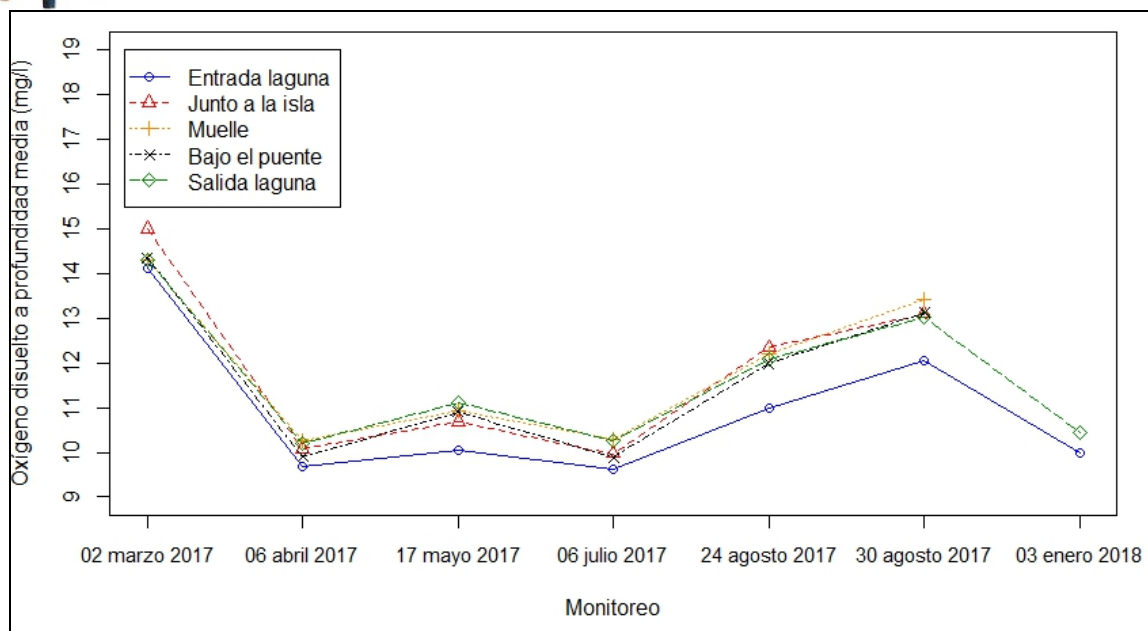


Ilustración 26 Oxígeno disuelto, medido in situ, a profundidad media de la laguna.

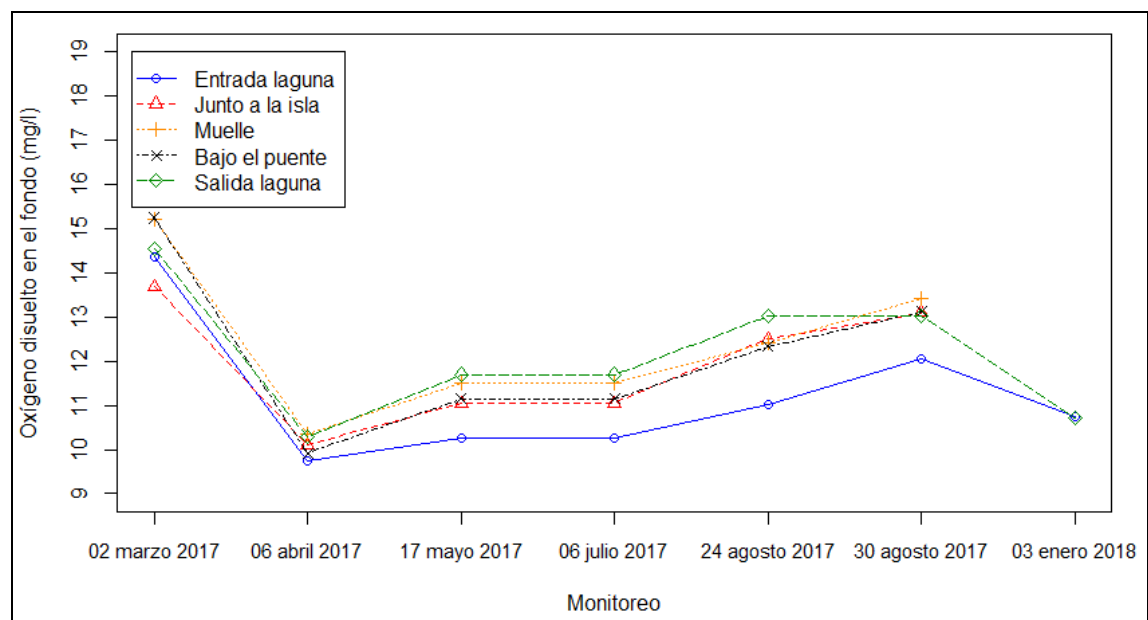


Ilustración 27 Oxígeno disuelto, medido in situ, en el fondo de la laguna.



4.1.10 Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días

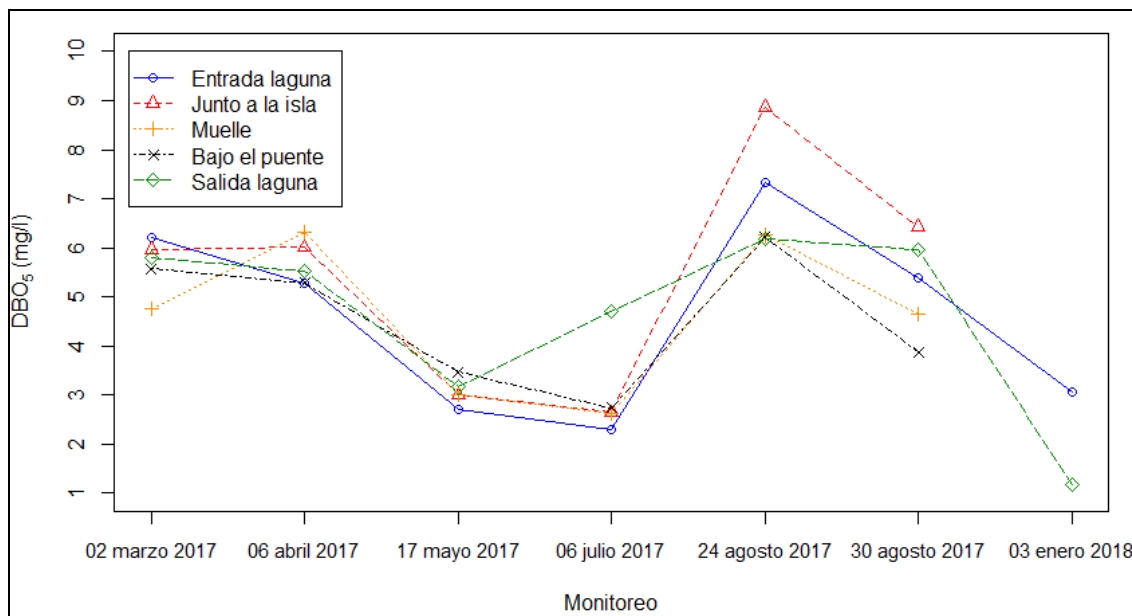


Ilustración 28 Demanda bioquímica de oxígeno de las muestras de agua de la laguna.

4.2 Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua cruda

A continuación, se muestran los resultados de los análisis de las muestras de agua cruda tomada el 09 de noviembre de 2017 al final de la conducción, en esta campaña no se tomó muestra en la fuente.

Tabla 11 Parámetros físicos de la muestra de agua cruda.

Parámetros	Valor	Unidad
Turbiedad	0.924	NTU, UTF
Color aparente	21.0	UC
Color real	18.0	UC
Conductividad	1194.0	μS/ cm
Sólidos disueltos	788.0	mg/l



Tabla 12 Parámetros químicos de la muestra de agua cruda.

Parámetros	Valor	Unidad
pH	8.80	
Alcalinidad total	123.60	mg/l, CaCO ₃
Alcalinidad fenolftaleína	82.40	mg/l, CaCO ₃
Dureza total	166.40	mg/l, CaCO ₃
Ca++	17.80	mg/l
Mg++	29.60	mg/l
Hierro total	0.02	mg/l
Magnesio	0.10	mg/l
Cobre	0.10	mg/l
Silicio	0.88	mg/l
Taninos y ligninas	1.00	mg/l
P. ortofosfatos disueltos	0.02	mg/l
Cloruros	42.40	mg/l
Sulfatos	51.44	mg/l
N. nitritos	0.53	µg/l
N. nitratos	3.33	mg/l

Tabla 13 Parámetros bacteriológicos de la muestra de agua cruda.

Parámetros	Valor	Unidad	Observación
Recuento en placa	280.0	U.F.C./ml	37° C. 24H
Pseudomona aeruginosa	90.0	U.F.C./100ml	42° C. 24H
Mohos y levaduras	75.0	U.F.C./100ml	35.5° C. 48H
Coliformes totales	1.60E+04	NMP/100ml	37° C. 24H
E. Coli	9.20E+03	NMP/100ml	3 ° C. 24H

A continuación, se indican los resultados de los análisis bacteriológicos de una nueva muestra de agua cruda, en el inicio y el final de la conducción que abastece a la laguna. Estas muestras fueron tomadas el 03 de enero de 2018.

Tabla 14 Resultados del análisis bacteriológico del agua cruda.

Parámetros	Inicio	Final	Unidad	Observaciones
Coliformes				
totales	920	4300	NMP/100ml	37° C. 24H
E. coli	220	1400	NMP/100ml	37° C. 24H



4.3 Comparación con la normativa TULSMA

4.3.1 Comparación antes del vaciado de la laguna

A continuación, se presenta la comparación de los parámetros obtenidos con los establecidos por la normativa TULSMA para agua de uso recreativo de contacto recreativo. Se muestran dos tablas para cada estación; la primera indica los valores de los parámetros, la segunda muestra el cumplimiento o no con la normativa.

Los más importantes requisitos que contempla la norma, se resumen en las siguientes tablas.

Entrada laguna

Tabla 15 Parámetros para la determinación de cumplimiento de la calidad de agua en la primera estación.

Parámetro		02 marzo	06 abril	17 mayo	06 julio	24 agosto	30 agosto
Coliformes totales		11000	790	700	540	160000	70
Coliformes fecales		200	330	110	22	92000	23
Oxígeno disuelto medido	Superficie	12.16	9.00	9.40	9.30	10.80	12.29
	Medio	14.11	9.67	10.05	9.61	10.98	11.70
	Fondo	14.37	9.75	10.25	9.52	11.02	12.05
80% del valor de saturación de OD	Superficie	4.97	5.30	5.11	5.45	5.40	5.53
	Medio	5.19	5.30	5.15	5.48	5.43	5.52
	Fondo	5.22	5.30	5.16	5.48	5.43	5.52
pH		7.74	8.45	8.60	8.16	8.41	8.31
Relación N:P		1.5:1	0.4:1	1.8:1	0.4:1	0.6:1	0.7:1

Tabla 16 Cumplimiento de la calidad de agua según normativa TULSMA en la primera estación.

Parámetro		02 marzo	06 abril	17 mayo	06 julio	24 agosto	30 agosto
Coliformes totales		X	✓	✓	✓	X	✓
Coliformes fecales		✓	✓	✓	✓	X	✓
% de Saturación de OD	Superficie	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Medio	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Fondo	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Material flotante		X	X	X	X	X	X
Relación N:P		X	X	X	X	X	X



Nota: ✓ = cumple, X = no cumple

Junto a la isla

Tabla 17 Parámetros para la determinación de cumplimiento de la calidad de agua en la segunda estación.

Parámetro		02 marzo	06 abril	17 mayo	06 julio	24 agosto	30 agosto
Coliformes totales		2700	1400	1700	170	260	49
Coliformes fecales		1100	330	92	14	49	33
Oxígeno disuelto medido	Superficie	13.41	9.6	9.72	9.71	11.51	13.11
	Medio	15	10.08	10.69	9.97	12.35	13.1
	Fondo	13.69	10.1	11.04	10.15	12.5	13.1
80% del valor de saturación de OD	Superficie	5	5.3	5.2	5.49	5.46	5.53
	Medio	5.22	5.3	5.02	5.49	5.46	5.53
	Fondo	5.24	5.3	5.22	5.51	5.49	5.54
pH		8.85	8.64	8.59	8.37	8.53	8.42
Relación N:P		1.4:1	0.5:1	0.6:1	0.5:1	1.6:1	1.9:1

Tabla 18 Cumplimiento de la calidad de agua según normativa TULSMA en la segunda estación.

Parámetro		02 marzo	06 abril	17 mayo	06 julio	24 agosto	30 agosto
Coliformes totales		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Coliformes fecales		X	✓	✓	✓	✓	✓
% de Saturación de OD	Superficie	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Medio	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Fondo	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Material flotante		X	X	X	X	X	X
Relación N:P		X	X	X	X	X	X

Nota: ✓ = cumple, X = no cumple



Bajo el puente

Tabla 19 Parámetros para la determinación de cumplimiento de la calidad de agua en la tercera estación.

Parámetro		02 marzo	06 abril	17 mayo	06 julio	24 agosto	30 agosto
Coliformes totales		1100	1400	1700	460	110	110
Coliformes fecales		450	170	78	17	70	49
Oxígeno disuelto medido	Superficie	11.65	10.06	10.32	9.96	11.87	13.19
	Medio	14.29	10.26	10.93	10.28	12.19	13.3
	Fondo	15.22	10.35	11.5	10.55	12.41	13.41
80% del valor de saturación de OD	Superficie	4.96	5.28	5.12	5.45	5.40	5.51
	Medio	5.12	5.28	5.16	5.48	5.45	5.53
	Fondo	5.20	5.29	5.20	5.50	5.47	5.53
pH		8.8	8.64	8.58	8.42	8.55	8.51
Relación N:P		3.2:1	0.5:1	0.5:1	0.6:1	1.:1	1.9:1

Tabla 20 Cumplimiento de la calidad de agua según normativa TULSMA en la tercera estación.

Parámetro		02 marzo	06 abril	17 mayo	06 julio	24 agosto	30 agosto
Coliformes totales		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Coliformes fecales		✓	✓	✓	✓	✓	✓
% de Saturación de OD	Superficie	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Medio	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Fondo	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Material flotante		X	X	X	X	X	X
Relación N:P		X	X	X	X	X	X

Nota: ✓ = cumple, X = no cumple



Muelle

Tabla 21 Parámetros para la determinación de cumplimiento de la calidad de agua en la cuarta estación.

Parámetro		02 marzo	06 abril	17 mayo	06 julio	24 agosto	30 agosto
Coliformes totales		2200	940	9200	170	260	49
Coliformes fecales		450	40	110	17	79	49
Oxígeno disuelto medido	Superficie	12.10	9.10	10.17	9.70	11.52	12.81
	Medio	14.35	9.90	10.91	9.88	11.99	13.02
	Fondo	15.24	9.92	11.15	10.15	12.33	13.13
80% del valor de saturación de OD	Superficie	4.85	5.31	5.01	5.40	5.36	5.50
	Medio	5.16	5.30	5.17	5.44	5.43	5.51
	Fondo	5.19	5.30	5.19	5.46	5.45	5.52
pH		8.79	8.57	8.57	8.42	8.54	8.53
Relación N:P		0.5:1	0.9:1	0.5:1	5.5 :1	1.4: 1	2.1: 1

Tabla 22 Cumplimiento de la calidad de agua según normativa TULSMA en la cuarta estación.

Parámetro		02 marzo	06 abril	17 mayo	06 julio	24 agosto	30 agosto
Coliformes totales		✓	✓	X	✓	✓	✓
Coliformes fecales		✓	✓	✓	✓	✓	✓
% de Saturación de OD	Superficie	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Medio	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Fondo	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Material flotante		X	X	X	X	X	X
Relación N:P		X	X	X	X	X	X

Nota: ✓ = cumple, X = no cumple



Salida laguna

Tabla 23 Parámetros para la determinación de cumplimiento de la calidad de agua en la quinta estación.

Parámetro		02 marzo	06 abril	17 mayo	06 julio	24 agosto	30 agosto
Coliformes totales		3300	260	1700	280	79	70
Coliformes fecales		780	110	68	21	49	11
Oxígeno disuelto medido	Superficie	12.23	9.67	10.37	9.84	11.74	12.65
	Medio	14.31	10.21	11.11	10.27	12.07	12.89
	Fondo	14.54	10.3	11.7	10.36	13.03	13.03
80% del valor de saturación de OD	Superficie	5.03	5.29	5.12	5.44	5.39	5.4
	Medio	5.19	5.29	5.16	5.45	5.44	5.51
	Fondo	5.20	5.30	5.20	5.48	5.47	5.51
pH		8.84	8.63	8.45	8.41	8.56	8.55
Relación N:P		0.5:1	2.3:1	0.6:1	0.6:1	2.8:1	1.7:1

Tabla 24 Cumplimiento de la calidad de agua según normativa TULSMA en la quinta estación.

Parámetro		02 marzo	06 abril	17 mayo	06 julio	24 agosto	30 agosto
Coliformes totales		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Coliformes fecales		✓	✓	✓	✓	✓	✓
% de Saturación de OD	Superficie	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Medio	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Fondo	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Material flotante		X	X	X	X	X	X
Relación N:P		X	X	X	X	X	X

Nota: ✓ = cumple, X = no cumple



4.3.2 Comparación luego del vaciado de la laguna

Entrada laguna

Tabla 25 Parámetros para la determinación de cumplimiento de la calidad de agua en la primera estación.

Parámetro		03 enero
Coliformes totales		280
Coliformes fecales		21
Oxígeno disuelto medido	Superficie	9.84
	Medio	10.00
	Inferior	10.73
80% del valor de saturación de OD	Superficie	5.12
	Medio	5.16
	Inferior	5.20
pH		8.50
Relación N : P		0.1 : 1

Tabla 26 Cumplimento de la calidad de agua según normativa TULSMA en la primera estación.

Parámetro		03 enero
Coliformes totales		✓
Coliformes fecales		✓
% de Saturación de OD	Superior	✓
	Medio	✓
	Inferior	✓
pH		✓
Material flotante		X
Relación N : P		X



Salida laguna

Tabla 27 Parámetros para la determinación de cumplimiento de la calidad de agua en la quinta estación.

Parámetro		03 enero
Coliformes totales		150
Coliformes fecales		17
Oxígeno disuelto medido	Superior	10.11
	Medio	10.45
	Inferior	10.71
80% del valor de saturación de OD	Superior	5.39
	Medio	5.44
	Inferior	5.47
pH		8.90
Relación N : P		2.8 : 1

Tabla 28 Cumplimiento de la calidad de agua según normativa TULSMA en la quinta estación.

Parámetro		03 enero
Coliformes totales		✓
Coliformes fecales		✓
% de Saturación de OD	Superior	✓
	Medio	✓
	Inferior	✓
pH		✓
Material flotante		X
Relación N : P		X

4.4 Estado trófico de la laguna

4.4.1 Índice de estado trófico OCDE

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos al comparar los parámetros encontrados en las diferentes estaciones de la laguna, con la Tabla 3 del índice de estado trófico OCDE.



Tabla 29 Estado trófico de las diferentes estaciones según el índice de la OCDE.

Estación	Índice de trofia	Campaña de monitoreo					
		02 marzo	06 abril	17 mayo	06 julio	24 agosto	30 agosto
Entrada laguna	Clorofila α	M.	M.	M.	O.	E.	E.
	Fósforo	H.	H.	H.	H.	H.	H.
	Transparencia	H.	H.	H.	H.	H.	H.
Junto a la isla	Clorofila α	E.	M.	M.	O.	E.	E.
	Fósforo	H.	H.	H.	H.	H.	H.
	Transparencia	H.	H.	H.	H.	H.	H.
Bajo el puente	Clorofila α	E.	E.	M.	M.	E.	E.
	Fósforo	H.	H.	H.	H.	H.	H.
	Transparencia	H.	H.	H.	H.	H.	H.
Muelle	Clorofila α	E.	M.	M.	M.	E.	E.
	Fósforo	H.	H.	H.	H.	H.	H.
	Transparencia	H.	H.	H.	H.	H.	H.
Salida laguna	Clorofila α	E.	M.	M.	O.	E.	E.
	Fósforo	H.	H.	H.	H.	H.	H.
	Transparencia	H.	H.	H.	H.	H.	H.

Simbología: O = oligotrofia, M = mesotrofia, E = eutrofia, H = hipertrofia.

4.4.2 Índice de estado trófico de Carlson

A continuación, se indican dos tablas, la primera muestra los valores de los tres diferentes índices para cada estación de la laguna, la segunda indica el estado trófico según el índice de Carlson.



Tabla 30 Valores numéricos de los índices de estado trófico de Carlson en las diferentes estaciones.

Estación	Índice de trofia	Campaña de monitoreo					
		02 marzo	06 abril	17 mayo	06 julio	24 agosto	30 agosto
Entrada laguna	Clorofila α	50.89	50.20	43.65	37.00	55.44	54.55
	Fósforo	103.71	104.09	119.18	95.53	97.90	100.24
	Transparencia	58.91	63.92	61.22	59.05	62.53	60.79
Junto de la isla	Clorofila α	53.00	47.56	47.03	37.17	54.67	49.36
	Fósforo	121.61	103.28	106.59	96.70	121.41	124.61
	Transparencia	67.75	64.63	59.27	56.97	62.77	61.71
Bajo el puente	Clorofila α	52.81	53.50	47.33	40.61	53.04	51.48
	Fósforo	139.66	102.52	104.61	101.68	138.37	129.11
	Transparencia	67.39	64.59	58.07	56.17	61.46	61.55
Muelle	Clorofila α	52.74	49.21	45.04	40.77	56.06	51.05
	Fósforo	113.02	118.75	103.34	133.22	123.46	128.71
	Transparencia	66.64	67.63	59.00	54.46	61.32	61.44
Salida laguna	Clorofila α	50.89	47.96	43.54	34.46	55.10	51.21
	Fósforo	112.67	132.15	105.85	101.90	133.71	128.89
	Transparencia	58.91	63.49	57.66	56.35	62.27	61.38

Tabla 31 Estado trófico de las diferentes estaciones de la laguna según el índice de Carlson.

Estación	Índice de trofia	Campaña de monitoreo					
		02 marzo	06 abril	17 mayo	06 julio	24 agosto	30 agosto
Entrada laguna	Clorofila α	M.	M.	O.	O.	E.	E.
	Fósforo	H.	H.	H.	H.	H.	H.
	Transparencia	E.	E.	E.	E.	E.	E.
Junto a la isla	Clorofila α	M.	M.	M.	O.	E.	M.
	Fósforo	H.	H.	H.	H.	H.	H.
	Transparencia	E.	E.	E.	E.	E.	E.
Bajo el puente	Clorofila α	M.	M.	M.	O.	M.	M.
	Fósforo	H.	H.	H.	H.	H.	H.
	Transparencia	E.	E.	E.	E.	E.	E.
Muelle	Clorofila α	M.	M.	M.	O.	E.	M.
	Fósforo	H.	H.	H.	H.	H.	H.
	Transparencia	E.	E.	E.	E.	E.	E.
Salida laguna	Clorofila α	M.	M.	O.	O.	E.	M.
	Fósforo	H.	H.	H.	H.	H.	H.
	Transparencia	E.	E.	E.	E.	E.	E.

Simbología: O = oligotrofia, M = mesotrofia, E = eutrofia, H = hipertrofia.



4.5 Análisis de los sedimentos

4.5.1 Análisis granulométrico

En la siguiente tabla, se muestran los resultados obtenidos de los procesos previos realizados para el análisis granulométrico.

Tabla 32 Contenido de humedad y gravedad específica del sedimento.

Parámetro	Valor
Humedad	76,30%
Gravedad específica	2,34 g/cm ³

En la ilustración siguiente se muestra la curva granulométrica del sedimento. En el Anexo 9 se muestran los porcentajes acumulados utilizados para la obtención de la curva.



Ilustración 29 Curva granulométrica del sedimento.

Esto indica que las partículas del sedimento presente es material muy fino y con una distribución uniforme. Este sedimento es de origen orgánico en su mayoría, como se corrobora en el análisis químico.



4.5.2 Análisis químico

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos de los análisis químicos realizados en el sedimento.

Tabla 33 Porcentaje de sólidos y humedad en las muestras de sedimento.

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2
Porcentaje de sólidos	22.43	11.9
Porcentaje de humedad	77.57	88.1

Tabla 34 Porcentaje de sólidos orgánicos e inorgánicos de las muestras de sedimento.

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2
Porcentaje de sólidos inorgánicos	83.76	82.31
Porcentaje de sólidos orgánicos	16.24	17.69

Tabla 35 Residuos de los sólidos inorgánicos eliminados a 850° C.

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2
Porcentaje de residuo a 850°C.	67.07	67.62
Porcentaje de residuo eliminado a 850°C.	32.93	32.38

Tabla 36 Compuestos químicos presentes en los sólidos inorgánicos del sedimento.

Compuesto	Porcentaje (%)
Hidróxido de calcio y magnesio	97.00
Carbonato de calcio y magnesio	2.78
Silicio	0.11
Aluminio	0.05
Hierro	0.03
Cobre	0.02

4.5.3 Volumen sedimentos acumulado en la laguna

En el Anexo 4 se muestra las alturas de sedimentos medidas al interior de la laguna. A continuación, se muestra un promedio de la altura a una profundidad media, altura máxima y mínima.



Tabla 37 Altura promedio, máxima y mínima del sedimento

Altura	Medida
Máxima	11.00 cm
Mínima	1.00 cm
Media	5.41 cm

El volumen calculado de sedimento fue de 60.14 m^3 , cabe recalcar que este valor representa al volumen de sedimento saturado de agua. El volumen de sedimento seco calculado restando su porcentaje de humedad fue de 18.68 m^3 .

4.6 Topografía y batimetría

A continuación, se muestran las curvas de nivel de la superficie del fondo de la laguna.

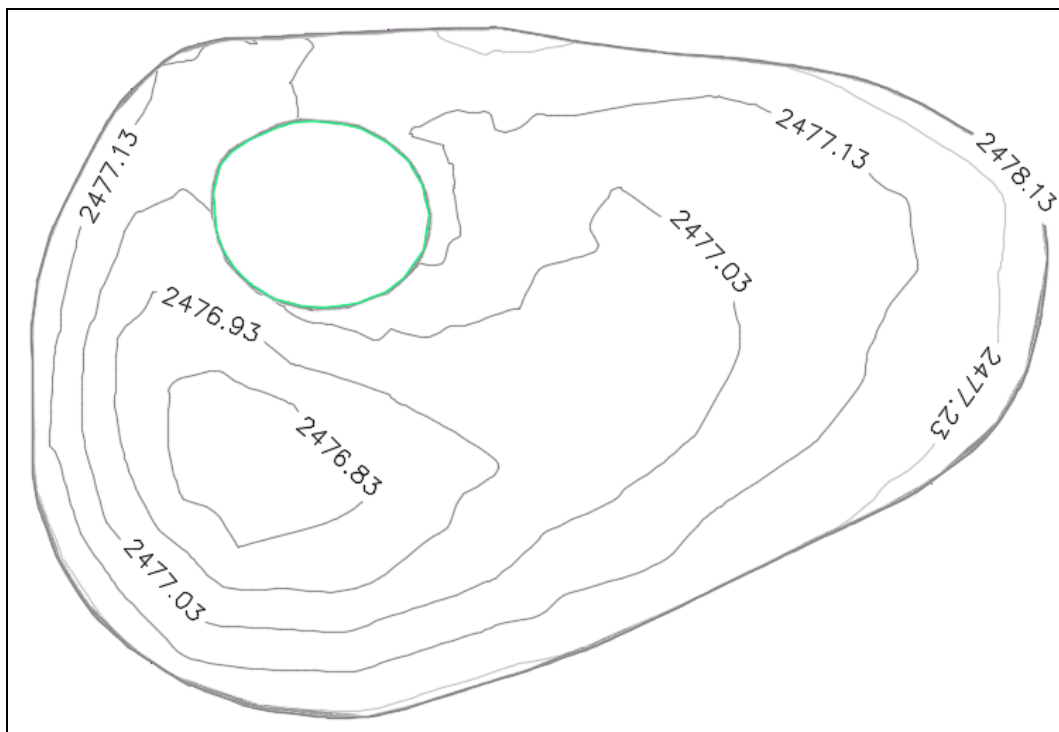


Ilustración 30 Curvas de nivel de la superficie del fondo de la laguna.

En la Ilustración 31 e Ilustración 32, se muestran los ejes de los perfiles batimétricos a lo largo y ancho de la laguna.

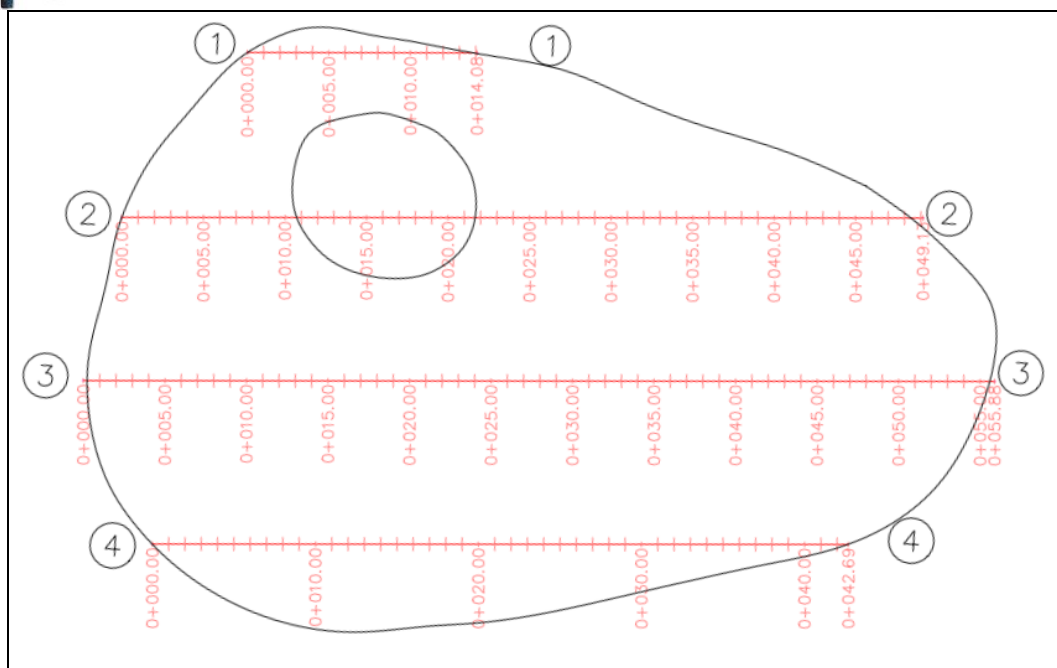


Ilustración 31 Ejes de perfiles batimétricos en el eje corto de la laguna.

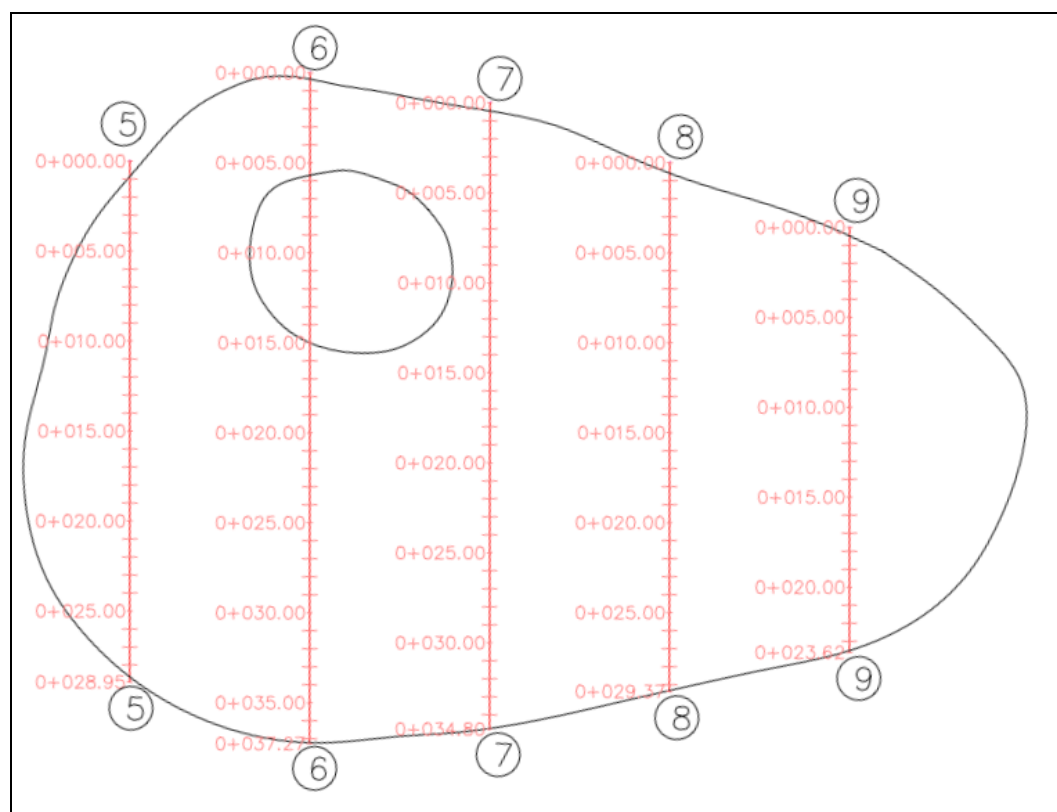


Ilustración 32 Ejes de perfiles batimétricos en el eje largo de la laguna.



A continuación, se muestran los perfiles batimétricos obtenidos para determinar la profundidades, mínima, máxima y media de agua en la laguna. Se muestran los perfiles 3 y 6 que son los más representativos.

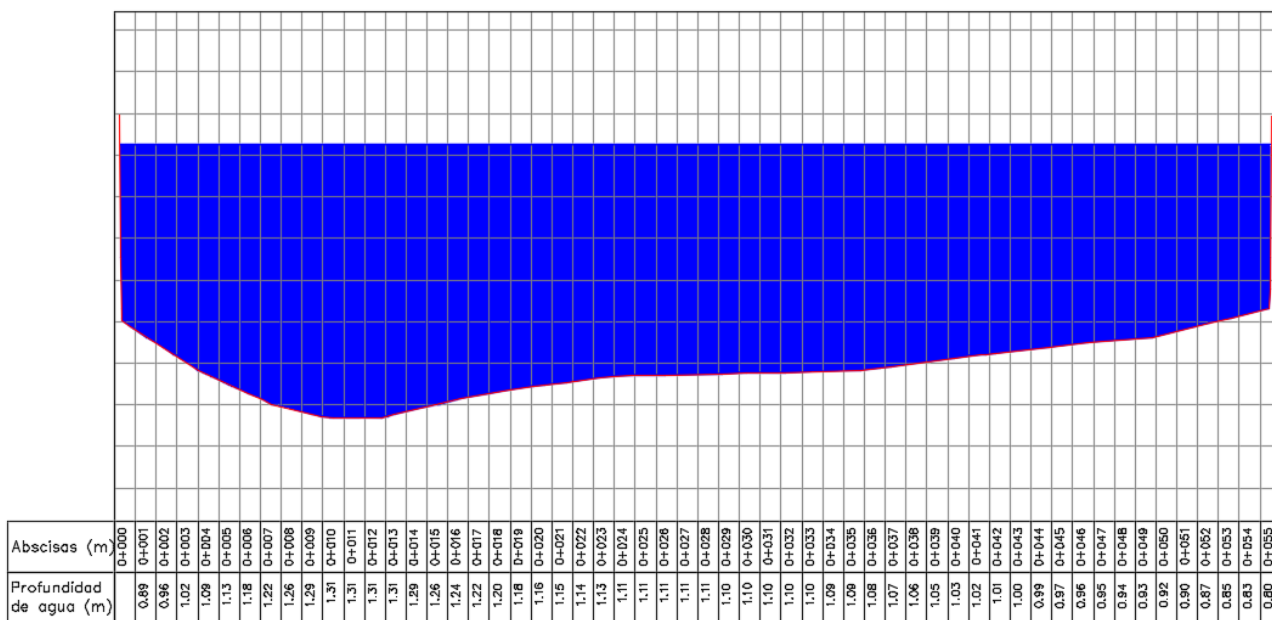


Ilustración 33 Perfil batimétrico Eje 3.

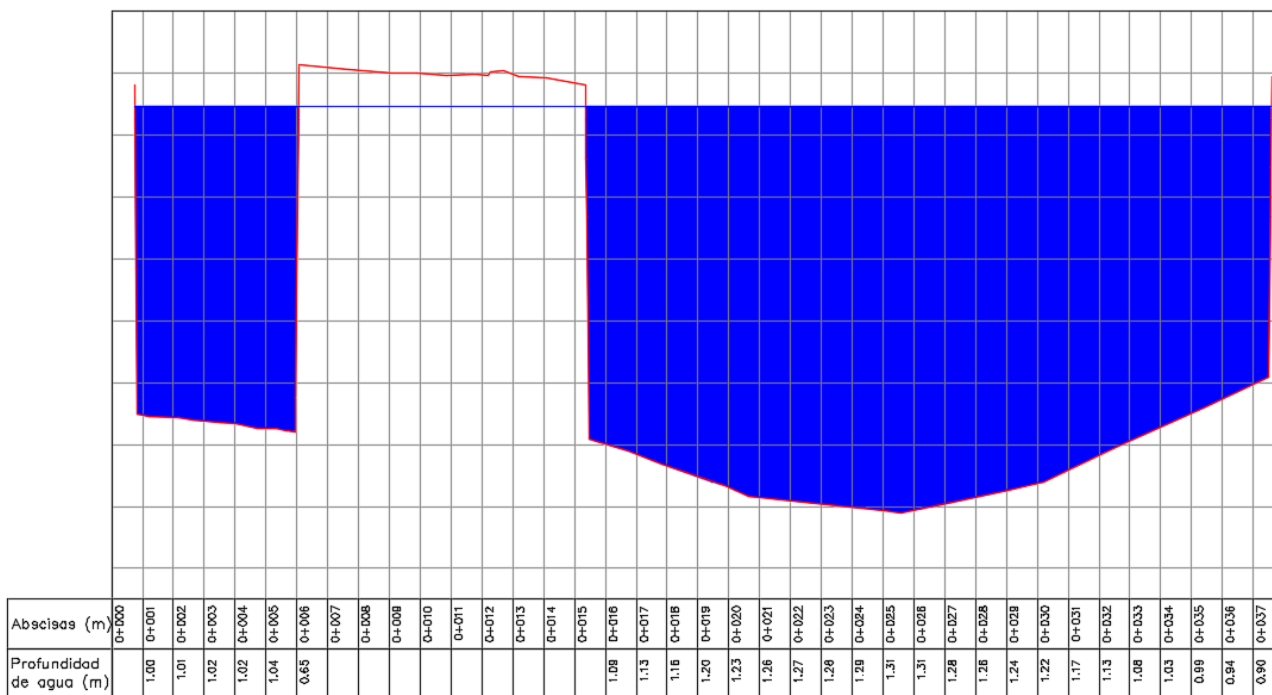




Ilustración 34 Perfil batimétrico Eje 6.

En la siguiente tabla se indica un resumen de las profundidades obtenidas de las batimetrías.

Tabla 38 Resumen de profundidades de agua en la laguna.

Profundidad	
Máxima	1.31 m
Mínima	0.81 m
Media	1.05 m

4.7 Características hidráulicas

4.7.1 Caudal de ingreso

Tabla 39 Caudal de ingreso a la laguna durante las siete campañas de monitoreo

Monitoreo	Caudal (l/s)
02-mar-17	0.29
06-abr-17	0.31
17-may-17	0.30
06-jul-17	0.32
24-ago-17	0.32
30-ago-17	0.34
03-ene-18	0.28

El promedio de los caudales aforados fue de 0.31 l/s.

4.7.2 Caudal de salida

Tabla 40 Caudal de salida de la laguna durante las siete campañas de monitoreo

Monitoreo	Caudal (l/s)
02-mar-17	0.44
06-abr-17	0.45
17-may-17	0.34
06-jul-17	0.36
24-ago-17	0.43
30-ago-17	0.41
03-ene-18	0.30



El promedio de los caudales aforados fue de 0.39 l/s.

El caudal de salida es mayor al de ingreso, debido a los afluentes que llegan hacia la laguna como es el agua lluvia y esorrentía, a parte del caudal de ingreso. Además, cabe recalcar que el método utilizado para el aforo del caudal de salida no es un método de gran exactitud, por lo que se generan errores en los resultados.

4.8 Modelo bidimensional de flujo en la laguna

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la simulación del flujo en la laguna. Primero se muestra la distribución de velocidades y luego la del número de Froude.

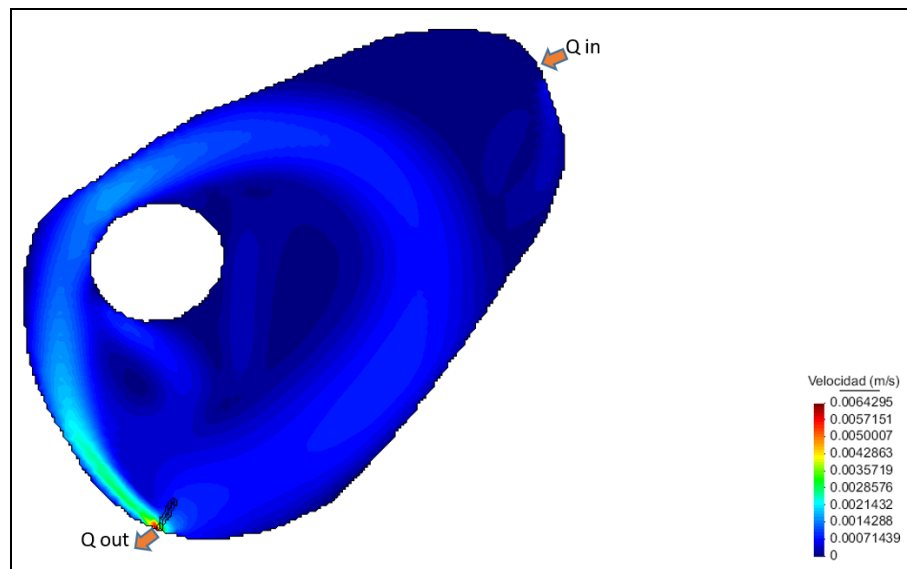


Ilustración 35 Distribución de las velocidades en la simulación de flujo en la laguna.

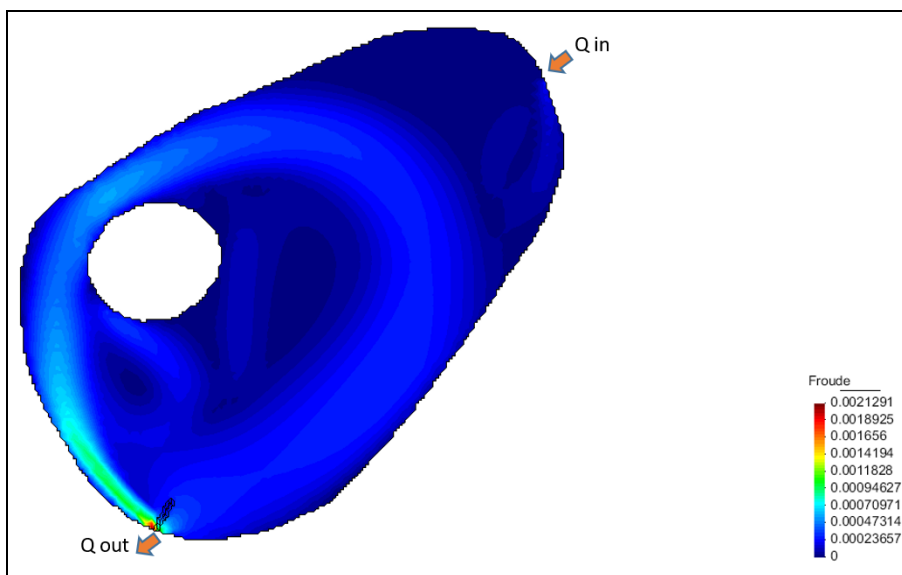


Ilustración 36 Distribución del número de Froude en la simulación de flujo en la laguna.

5. DISCUSIÓN

5.1 Parámetros químicos y bacteriológicos de las campañas 1 al 6

Clorofila

Los valores más altos en todas las 5 estaciones de muestreo, corresponden al monitoreo del 24 de agosto de 2017, (período de estiaje) con un máximo de $18.54 \mu\text{g/l}$ en *el muelle* y en el fondo. En cambio, los niveles más bajos corresponden al 06 de julio de 2017, con un mínimo de $0.98 \mu\text{g/l}$ en *la salida* y en la superficie.

Los valores promedios en la superficie, medio y fondo de la laguna en las 5 estaciones de muestreo, son $5.77 \mu\text{g/l}$, $7.16 \mu\text{g/l}$ y $9.01 \mu\text{g/l}$. Además, mediante un análisis por diagramas de cajas y bigotes se encontró un valor atípico de $15.02 \mu\text{g/l}$ en el fondo en *el puente*, y corresponde a la campaña del 24 de agosto de 2017. También se observa que los valores del fondo son menos variables en todas las estaciones en relación a los de la superficie y medio.

La clorofila es debido a la presencia de algas; en el fondo se encuentran los valores más altos debido a que las algas se van sedimentando y acumulando junto a más sedimentos orgánicos depositados. Por lo tanto, en el fondo de la laguna existe una mayor eutrofización, y la concentración de clorofila tiende a uniformizarse; no obstante pronto esta masa algal experimentará descomposición y por lo tanto consumo de oxígeno. La zona eufótica o de mayor actividad fotosintética está al fondo de la laguna.

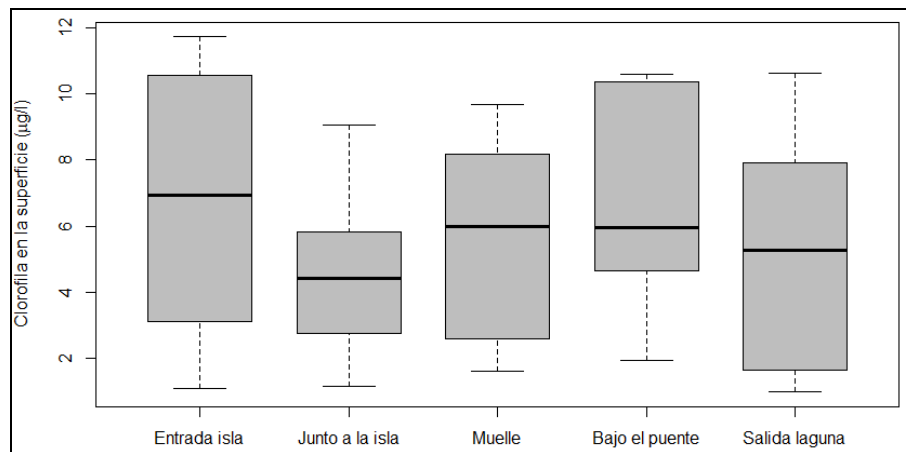


Ilustración 37 Diagrama de cajas y bigotes de la clorofila en la superficie.

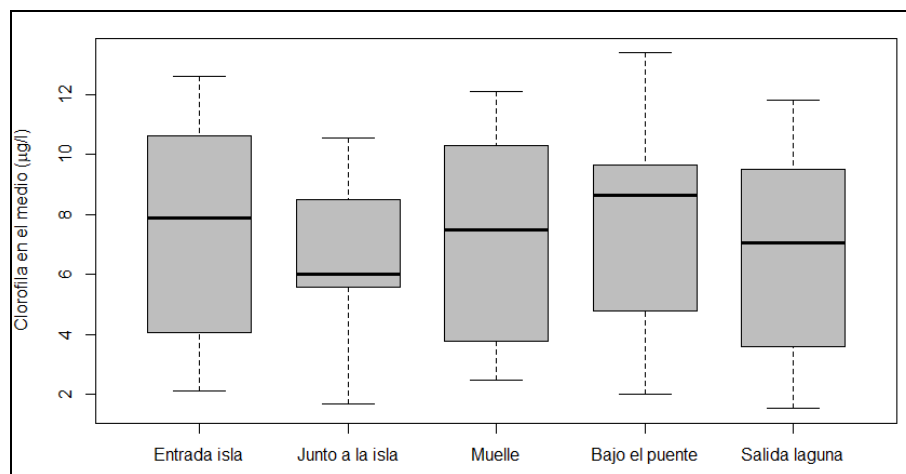


Ilustración 38 Diagrama de cajas y bigotes de la clorofila en el medio.

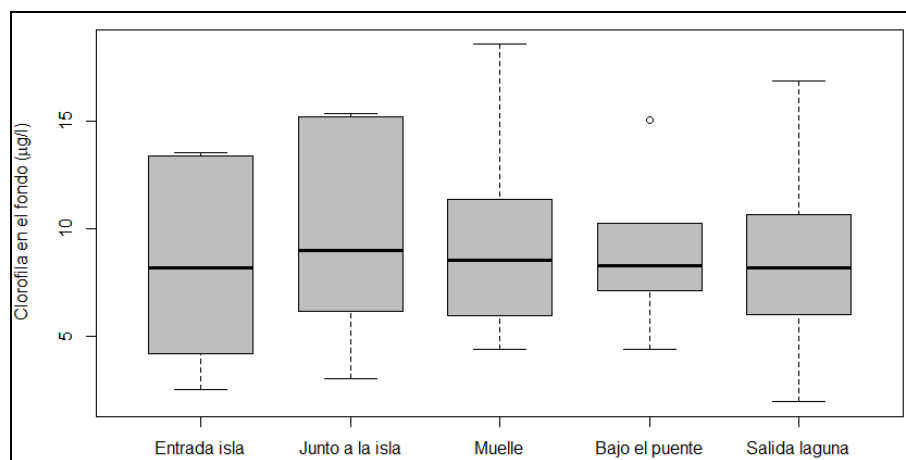


Ilustración 39 Diagrama de cajas y bigotes de la clorofila en el fondo.



Turbiedad

El valor más alto es de 15.80 NTU, *junto a la isla*, en la campaña del 02 de marzo de 2017; en cambio el valor más bajo fue de 3.72 NTU, en el *muelle*, en la campaña del 06 de julio de 2017, y que se corresponde con el nivel más bajo de clorofila, por lo que, la turbiedad en esta laguna es debida a la presencia de microalgas. La media de todos los valores de turbiedad encontrados en la laguna fue de 8.68 NTU.

Según el análisis por diagramas de cajas y bigotes (Ilustración 40) se puede observar un valor atípico de 10.42 NTU en la entrada, en la campaña del 06 de abril de 2017; el gráfico también indica que la estación con menos variabilidad es la *entrada a la laguna* con valores entre 6 y 8 NTU ignorando el valor atípico. La estación con mayor variación de turbiedad es *el muelle* con valores entre 4 y 16 NTU. Se sugiere que el valor de turbiedad no debe pasar de 50 NTU para aguas de uso recreativo (Health Canada, 2012).

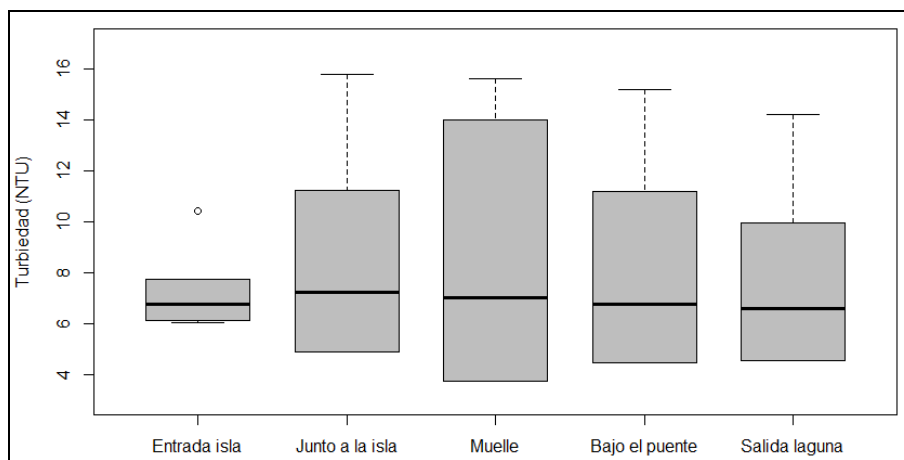


Ilustración 40 Diagrama de caja y bigotes de turbiedad.

Además, la presencia de turbiedad en el agua puede interferir con la medición de indicadores de organismos de origen fecal (Health Canada, 2012).

La turbiedad es de naturaleza orgánica debida a la presencia de microalgas; a la entrada de la laguna el agua presenta la menor turbiedad porque se trata de una fuente subterránea, pero a medida que el agua permanece en la laguna, la actividad fotosintética que se va incrementando favorece el desarrollo de organismos fotosintéticos y la turbiedad se incrementa.

Color aparente

El valor más alto es de 196 UC, en *el muelle*; y el más bajo de 60 UC, *junto a la isla*, y registrados en los mismos monitoreos que para la turbiedad máxima y mínima. El valor promedio fue de 100.27 UC.



Como se observa en la Ilustración 41, hay un valor atípico de 138 UC en *la entrada* correspondientes al monitoreo del 06 de abril de 2017. Los niveles más bajos de color se registran a la entrada. (debido al origen del agua)

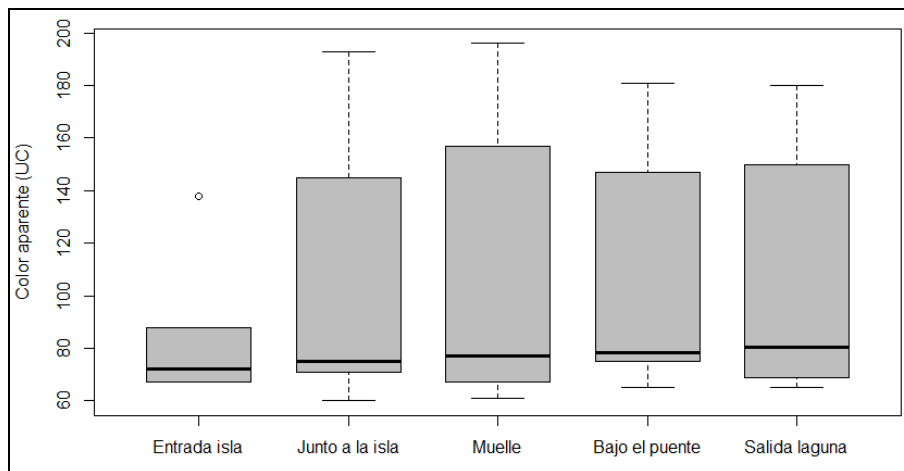


Ilustración 41 Diagrama de cajas y bigotes de color aparente.

Color real

El mayor valor fue de 50 UC, a *la salida* en la campaña del 24 de agosto de 2017, y el más bajo fue de 10 UC a *la entrada*, en la campaña del 06 de abril de 2017. El valor promedio es de 24.63 UC.

Mediante el diagrama de cajas y bigotes (Ilustración 42), podemos observar que la estación con mayor variación de color real se presenta a *la entrada* variando entre valores de 10 y 40 UC, contrariamente al color aparente. Además, existe un valor atípico a *la salida*, correspondiente a la campaña de monitoreo del 24 de agosto.

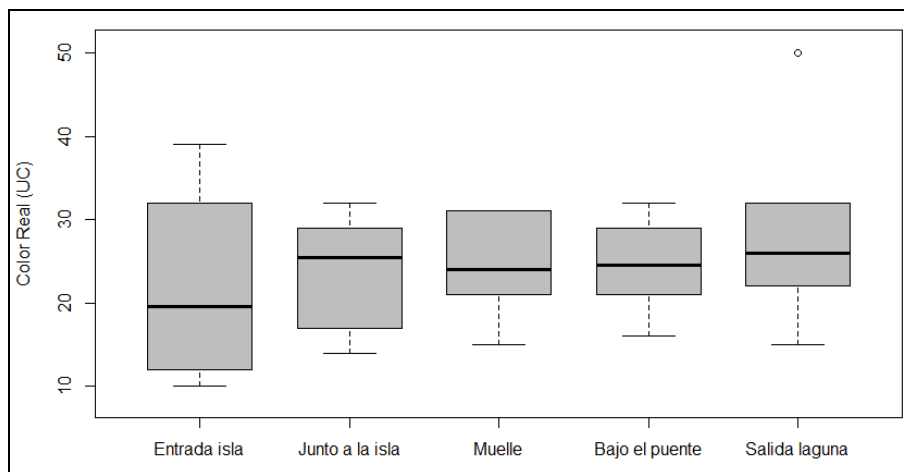


Ilustración 42 Diagrama de cajas y bigotes de color real.



El color real se incrementa dentro de la laguna.

pH

El menor valor fue de 7.74 a *la entrada*, en la campaña del 02 de marzo de 2017. El mayor valor fue de 8.85 *junto a la isla*, el 02 de marzo de 2017. El valor promedio pH encontrado fue de 8.51.

El diagrama muestra que el pH del agua que ingresa, es el más bajo; pero conforme permanece en la laguna su valor se incrementa; esto debido a la actividad fotosintética que se va generando, las algas van consumiendo el CO₂ del agua, y el pH sube.

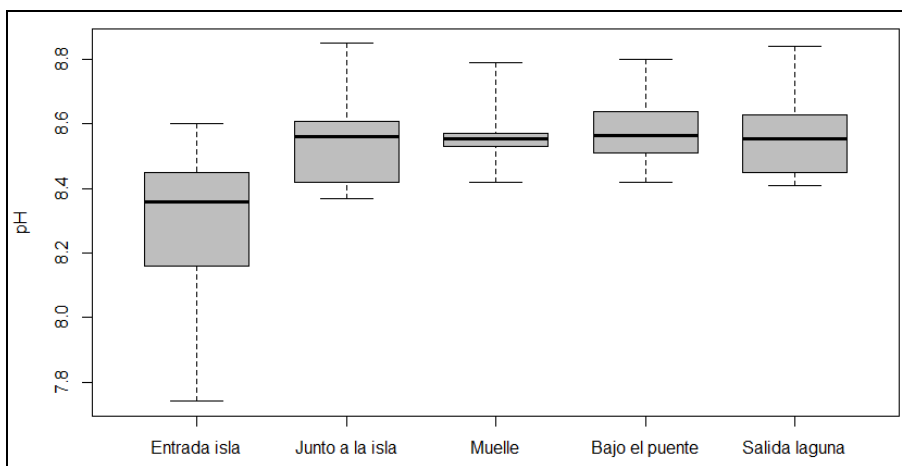


Ilustración 43 Diagrama de cajas y bigotes del pH.

El pH en aguas recreativas es un problema, cuando se encuentra fuera de un rango entre 5 y 9 causando irritación ocular (*Health Canada*, 2012). Por lo tanto, el pH del agua en la laguna no representa un problema.

Por los valores de pH, se deduce que una gran actividad fotosintética se produce *junto a la isla*.

Coliformes totales

El valor más alto fue de 160000 NMP/100ml a *la entrada*, correspondiente a la campaña del 24 de agosto de 2017. El valor más bajo fue de 49 NMP/100ml *junto a la isla*, el 30 de agosto de 2017.

Según el diagrama de cajas y bigotes, el valor atípico de 160000 NMP/100ml a *la entrada*, dista en un orden muy elevado a todos los otros valores encontrados; por lo tanto, puede deberse a una descarga puntual en las cajas de revisión del sistema de tuberías que abastece a la laguna. Como se puede observar las demás estaciones (excluyendo la de entrada) los valores de coliformes se encuentran por debajo de los 2500 NMP/100ml.

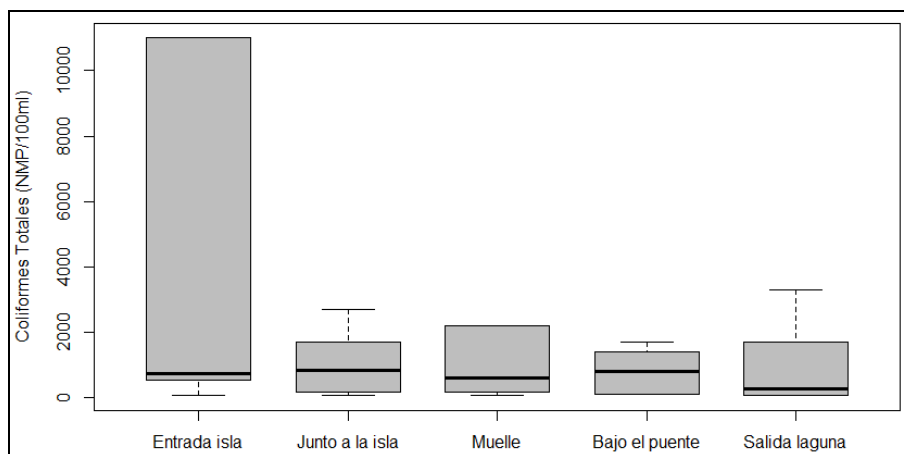


Ilustración 44 Diagrama de cajas y bigotes de coliformes totales, sin el valor atípico.

E. Coli

El valor más alto de E. Coli encontrado es de 92000 NMP/100ml a *la entrada*, correspondiente a la campaña del 24 de agosto de 2017, al igual que el de coliformes totales. El valor más bajo obtenido fue de 11 NMP/100ml.

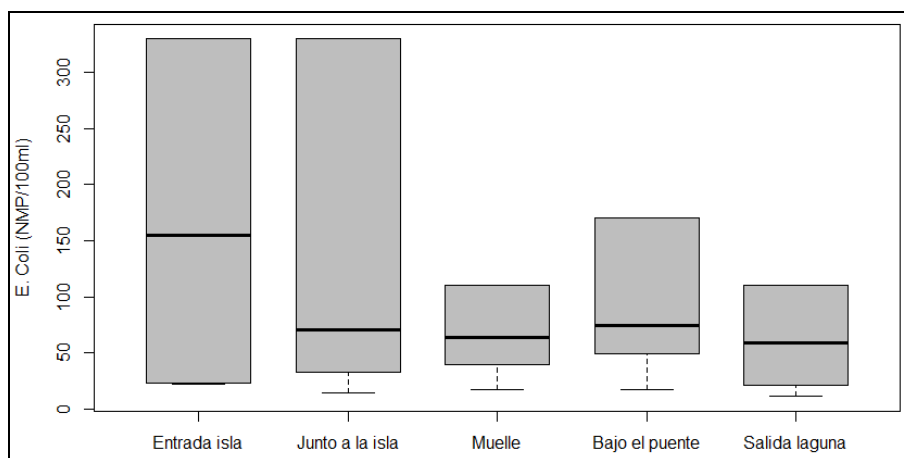


Ilustración 45 Diagrama de cajas y bigotes del E. Coli.

La bacteria E. coli, es un indicador de contaminación fecal de humanos o animales; su presencia está relacionado con la posibilidad de que el agua pueda contener bacterias patógenas, virus y protozoarios. Además, la ausencia de E. coli no debe ser interpretado como ausencia de patógenos en el agua (Health Canada, 2012).

Por su naturaleza el agua subterránea no presenta contaminación bacteriológica, por lo que la presencia de coliformes y de origen fecal es debido a la contaminación externa que presenta la laguna.

Fósforo



El valor más alto registrado fue de 4.09 mg/l, a *la entrada* correspondiente a la campaña de 06 de julio de 2017; y el más bajo fue de 0.19 mg/l en el *punte*, en la campaña del 02 de marzo de 2017. El valor promedio fue de 1.55 mg/l.

Como se puede observar en la Ilustración 46, los valores de fósforo varían mucho de estación a estación. Los valores más altos se encuentran a la entrada, y por la presencia de peces. Algunas partículas de alimento, no son totalmente digeridas, quedando en forma soluble en el agua y favoreciendo el desarrollo de microalgas (Morales, 2004).

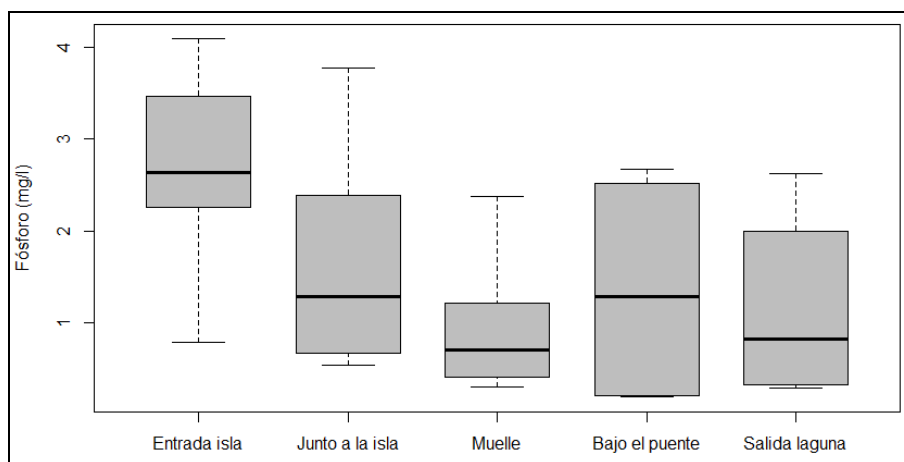


Ilustración 46 Diagrama de cajas y bigotes del fósforo total.

Debido al alto nivel de fósforo presente, se puede catalogar a este cuerpo lagunar como susceptible a una contaminación por cianobacterias, debido a que el nutriente clave para el desarrollo de masas de cianobacterias es el fósforo (*National Health and Medical Research Council* (Australia), 2008).

Las cianobacterias son un problema de salud pública debido a que algunos tipos de éstas, producen toxinas que tienen efectos perjudiciales en los tejidos, células u organismos (Carmichael, 1992). Estas toxinas tienen un riesgo potencial en aguas utilizadas para consumo humano y animal, acuicultura, agricultura y recreación (Ressom, 1994). Además, la producción de toxinas es impredecible, dificultando la identificación de la toxicidad de las aguas y la definición de las restricciones que deberían ser establecidas para el uso del agua (Falconer, Lin, Kay, & Stapleton, 1998).

Nitrógeno

El valor más alto de nitrógeno registrado, fue de 3.44 mg/l, a *la entrada* correspondiente a la campaña del 02 de marzo de 2017; y el menor fue de 0.60 mg/l a la *salida*, en la misma campaña. El valor promedio es de 1.21 mg/l.



Como muestra el diagrama de caja y bigotes, existe un valor atípico de 1.82 mg/l *junto a la isla* en la campaña del 06 de julio de 2017. Se observa que en *la entrada* suceden los valores más altos de nitrógeno.

El alto nivel de nitrógeno ya es una de las causas de la eutrofización en este cuerpo de agua, debido a que cuando su valor supera los 0.2 mg/l, se desencadena los problemas de eutrofización (Sierra, 2011).

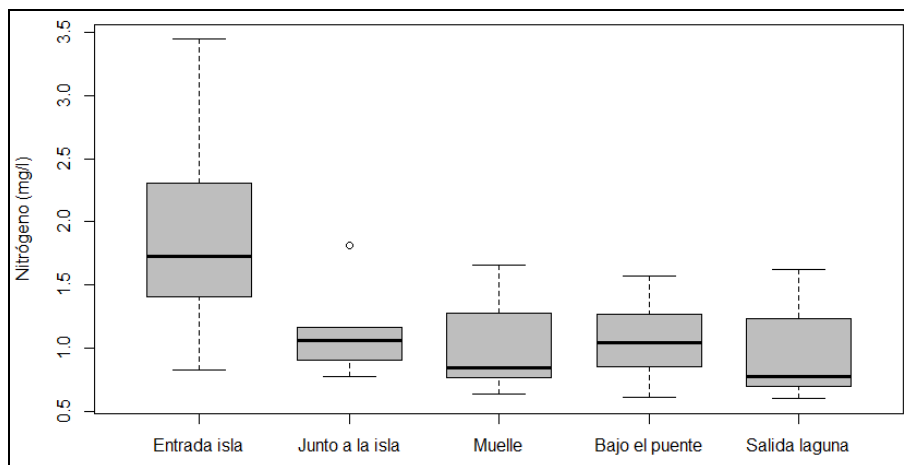


Ilustración 47 Diagrama de cajas y bigotes del nitrógeno total.

Cuando se produce la precipitación, el agua de escorrentía arrastra compuestos de nitrógeno, en proporción dependiente de las condiciones del suelo y de la vegetación. Estos ingresos, tienden a aumentar por la forma en que las actividades humanas perturban la atmósfera (Margalef, 1983).

Oxígeno disuelto

El máximo valor de oxígeno disuelto fue de 15.24 mg/l, encontrado en el fondo en *el muelle*. El menor valor fue de 9.00 mg/l, en la superficie y a *la entrada*, en la campaña del 06 de abril de 2017. El valor promedio es de 11.55 mg/l.

Como se puede ver en los tres diagramas de caja y bigotes siguientes, los valores más altos son los que se encuentran en el fondo, pero éstos no difieren mucho a los del medio y de la superficie.

Los niveles de oxígeno disuelto elevados, muy por encima de los valores de saturación, son debidos a la intensa actividad fotosintética que se lleva en la laguna, siendo mayor al fondo, al igual que los niveles de clorofila.

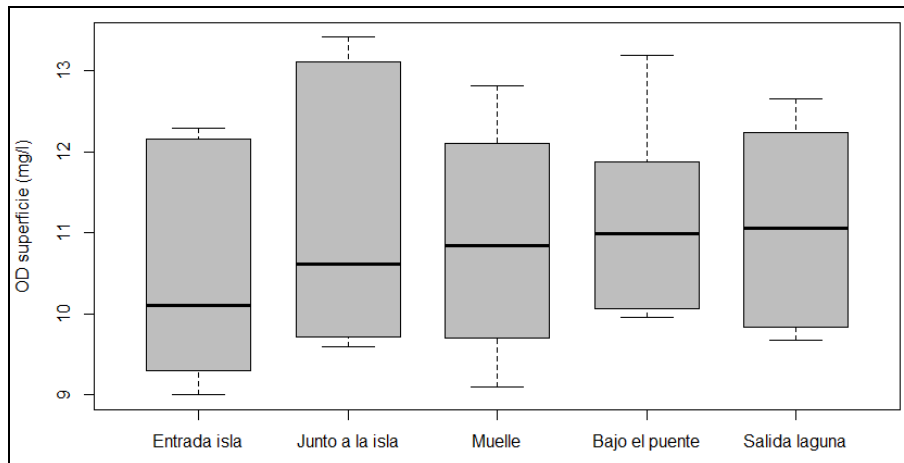


Ilustración 48 Diagrama de cajas y bigotes del oxígeno disuelto en la superficie.

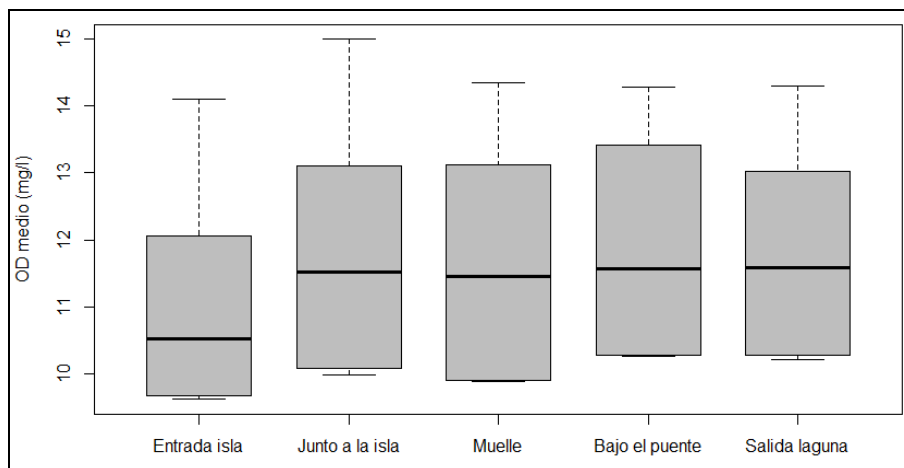


Ilustración 49 Diagrama de cajas y bigotes del oxígeno disuelto en el medio.

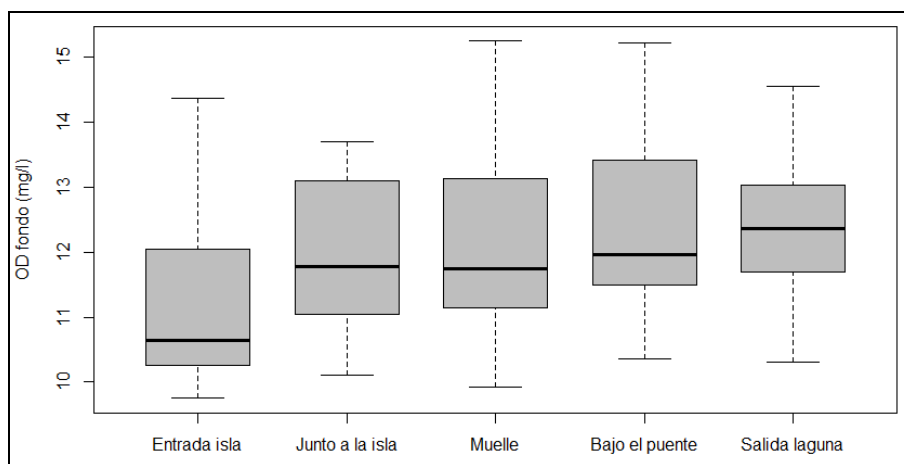


Ilustración 50 Diagrama de cajas y bigotes del oxígeno disuelto en el fondo.



A pesar de que una concentración alta de oxígeno disuelto no representa un riesgo para las personas, este puede influir en la actividad microbiológica para el desarrollo de bacterias. (WHO, 2003).

Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días

El valor más alto de DBO_5 fue de 8.86 mg/l, junto a la isla, en el monitoreo del 24 de agosto de 2017. El valor más bajo fue de 2.31 mg/l, a la entrada. El valor promedio es de 4.94 mg/l.

En el siguiente diagrama de cajas y bigote podemos observar que no existe una gran variación entre los valores de todas las estaciones; la mayoría se encuentra entre 2 y 7 mg/l.

Los niveles de materia orgánica biodegradable, son bajos.

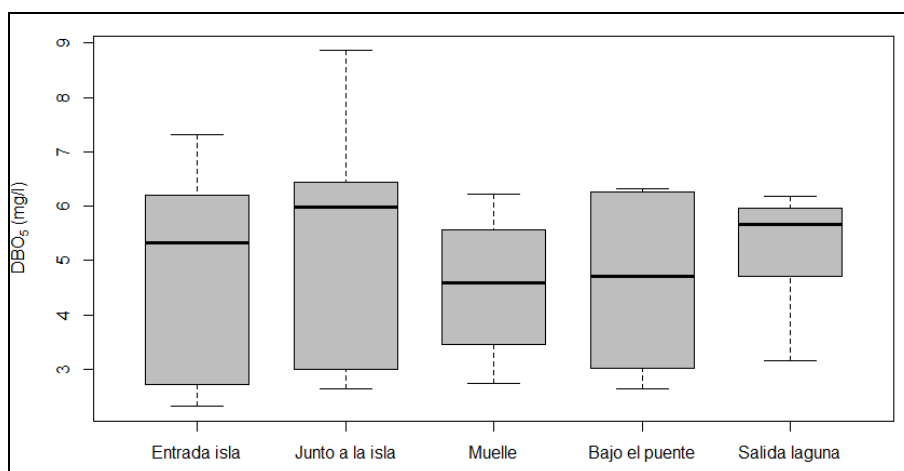


Ilustración 51 Diagrama de cajas y bigotes de la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días.

5.2 Parámetros químicos y bacteriológicos de la campaña 7

El monitoreo después del cambio de agua en la laguna, fue realizado aproximadamente un mes luego de que el agua de la laguna fue cambiada; las muestras se captaron a *la entrada y salida*.

Clorofila

Los niveles de clorofila, continúan dentro del mismo rango que los niveles anteriores, siguiendo la misma tendencia de presentar un nivel más alto a una mayor profundidad. Esto puede ser debido a que luego del cambio no se realizó ningún mantenimiento ni desinfección.



El agua limpia de la laguna, es muy susceptible de eutrofización; baja turbiedad, gran superficie de exposición a la luz solar, niveles de N y P suficientes para desencadenar el enriquecimiento algal.

Turbiedad

Se obtuvieron valores de turbiedad más bajos que los anteriores, se registró un valor de 2.83 mg/l en la primera estación, este valor es el más bajo de todos los monitoreos.

Color aparente

El color aparente también se redujo, esto se debe a que los niveles de turbiedad también se redujeron.

Color real

El color real del agua en la laguna se mantiene dentro del rango de los monitoreos anteriores.

Potencial hidrógeno

Los niveles de pH se mantienen dentro del rango de los monitoreos anteriores, no presentan ningún cambio significativo.

Coliformes totales

Los coliformes totales se mantienen dentro del rango de los monitoreos anteriores (excluyendo los valores atípicos encontrados). En la primera estación (*entrada laguna*) se encontraron valores más altos que en la quinta estación (*salida laguna*).

E. coli

Los valores E. coli encontrados son bajos, pero siguen dentro del rango de los monitoreos anteriores. Esto se debe a que el agua que ingresa a la laguna es la portante de este contaminante, y un cambio de agua no intervendría en la reducción de las bacterias.

Fósforo

Los niveles de fósforo se mantienen, además, *la entrada* sigue presentando valores más altos que los de *la salida*. Por lo tanto, este parámetro está ligado con el agua que ingresa.

Nitrógeno

Los niveles de nitrógeno son más bajos que los de los monitoreos anteriores.

Oxígeno disuelto



El oxígeno disuelto sigue dentro del rango de los monitoreos anteriores, y sigue la misma tendencia al presentar mayores valores a mayor profundidad.

DBO₅

La demanda bioquímica de oxígeno presenta un menor valor en la quinta estación, pero no representa un cambio muy significativo. En cuanto al valor de la entrada es bajo, pero se encuentra dentro del rango de los monitoreos anteriores.

5.3 Correlación entre parámetros

Se consideró realizar una comparación entre los valores de clorofila y oxígeno disuelto, en las tres profundidades de cada estación de muestreo. A continuación, se muestra una tabla con los valores del coeficiente R de Pearson de cada correlación en las estaciones.

Tabla 41 Valores de coeficiente R de Pearson de correlaciones entre clorofila y oxígeno disuelto.

Estación/Monitoreo	1	2	3	4	5	6	7
Entrada laguna	0.93	0.51	0.99	0.83	0.88	0.27	0.82
Junto a la isla	0.01	0.68	0.96	0.99	0.61	0.60	-
Bajo el puente	0.92	0.09	0.77	0.97	0.82	0.99	-
Muelle	0.92	0.38	0.74	0.96	0.89	0.74	-
Salida laguna	0.58	0.03	0.98	0.89	0.96	0.97	0.92

Como se puede observar, existen altos valores de correlación en la mayoría de las estaciones en tanto que para otros no es significativa la correlación.

5.4 Agua cruda

Los resultados del análisis del agua cruda que llega a la laguna muestran altos valores de alcalinidad, dureza, calcio y magnesio, además, de la presencia de otros minerales como hierro, cobre y silicio. Estos valores son evidentes debido a su origen subterráneo.

Los resultados del análisis microbiológico de las muestras tomadas en el inicio y al final de la conducción del agua cruda que llega a la laguna, indican una variación muy considerable de coliformes totales y E. coli, teniendo un valor mucho menor al inicio que al final como se presenta en la Tabla 14.



5.5 Comparación con la normativa TULSMA

Coliformes totales

El límite de coliformes totales que puede estar en un agua destinada a uso recreativo de contacto secundario, es de 4000 NMP/100ml. En la siguiente tabla, se muestran las estaciones de las campañas de monitoreo que no cumplieron con este parámetro.

Tabla 42 Estaciones que no cumplen con el límite de coliformes totales permisibles.

Estación	Valor	Monitoreo
Entrada laguna	11000	02 de marzo 2017
Entrada laguna	160000	24 de agosto 2017
Muelle	9200	17 de mayo 2017

Se cumple en la mayoría de las estaciones. Se podría suponer que a *la entrada* hay contaminación, en las cajas de revisiones del sistema de tuberías, las cuales muchas veces estaban abiertas.

A pesar de que en la mayoría de las estaciones se cumpla con este parámetro, resulta alarmante la cifra de coliformes totales en la primera estación del monitoreo del 24 de agosto, ya que está es el 4000% del valor permitido.

Coliformes fecales

El máximo valor de coliformes fecales que se pueden encontrar en un agua para el uso recreativo de contacto secundario es de 1000 NMP/100, especificado en la normativa TULAS del año 2002, este parámetro se ve suprimido en la normativa actual TULSMA vigente desde el año 2015. Se ha visto necesario analizar este parámetro debido a su gran importancia que tiene para la salud. En la siguiente tabla, podemos ver las estaciones donde no se cumplió con su valor.

Tabla 43 Estaciones que no cumplen con el límite de coliformes fecales permisibles

Estación	Valor	Monitoreo
Entrada laguna	92000	24 de agosto 2017
Junto a la isla	1100	02 de marzo 2017



A *la entrada* se encontró un alto valor de coliformes fecales, esto debido a contaminación puntual. En la estación *junto a la isla*, a pesar de cumplir con el parámetro de coliformes totales no cumple con el de fecales.

Oxígeno disuelto

Todas las estaciones, a diferentes profundidades, superan el valor mínimo de 80% de saturación de oxígeno exigido por la normativa TULSMA. Sin embargo, los elevados niveles son debidos a la intensa actividad algal que se da en el cuerpo lagunar, lo que más bien representa un indicador de eutrofización.

Potencial hidrógeno

Este parámetro se cumple en todas las estaciones de cada campaña de monitoreo. El pH, según esta normativa, debe estar entre valores de 6 a 9, los valores encontrados en las campañas de monitoreo varían entre 7.74 y 8.85.

Tensoactivos

Este parámetro no fue analizado en este trabajo de titulación.

Grasas y aceites

Las grasas y aceites resultaron ausentes, mediante inspecciones visuales, en las diferentes campañas de monitoreo realizados. No se realizó el análisis de determinación de presencia de grasas y aceites.

Material flotante

La normativa TULSMA especifica que debe existir ausencia de material flotante visible. En todas las campañas realizadas se encontró material flotante, de tipo orgánico especialmente (Anexo 3).

Relación nitrógeno fósforo

La relación nitrógeno fósforo mínima que especifica la normativa TULSMA es de 15:1. Ninguna estación, en ningún monitoreo, cumple con valores.



5.6 Estado trófico de la laguna

El diagnóstico del estado trófico de la laguna se realizó mediante dos índices, los dos indicaron un alto grado de trofia en todas las estaciones. Los dos índices distinguen tres tipos de parámetros para clasificar el grado de trofia: clorofila α , fósforo total y transparencia de columna de agua (disco de Secchi).

Índice de estado trófico OCDE

El grado de trofia por clorofila se distribuye, de la siguiente manera: 50% eutrofia, 40% mesotrofia y 10% oligotrofia. Por lo que se puede decir que la laguna se puede clasificar como un cuerpo de agua eutrófico por clorofila.

El grado de trofia por fósforo y por transparencia de columna de agua, en todas las estaciones y en todos los monitoreos es de hipertrofia. Por lo que la laguna se clasifica como un cuerpo de agua hipertrófico por fósforo y por transparencia de columna de agua.

Índice de estado trófico de Carlson

El grado de trofia por clorofila se distribuye, de la siguiente manera: 60% mesotrofia, 23% oligotrofia y 17% eutrofia. El estado trófico, según este índice, catalogaría a esta laguna como un cuerpo de agua mesotrófico, a diferencia del índice de la OCDE, por clorofila. Siendo de igual manera que, en el índice de la OCDE, el monitoreo con menor grado de trofia el del 06 de julio de 2017.

El grado de trofia por fósforo, al igual que en el índice de la OCDE, en todas las estaciones de todos los muestreos es de hipertrofia. Por tanto, los dos índices catalogan a este cuerpo de agua como hipertrófico por fósforo.

El grado de trofia por transparencia de columna de agua, en todas las estaciones de todos los monitoreos, es de eutrofia. Este índice cataloga a la laguna como un cuerpo de agua eutrófico, un grado menos que el índice de la OCDE.

5.7 Sedimentos

El análisis granulométrico indicó que el sedimento depositado en el fondo de la laguna, es un material fino, por lo que el análisis granulométrico sólo fue posible mediante el



hidrómetro. Presenta un alto porcentaje de agua (82,8%), y el análisis químico indicó que el 83% del sedimento es de origen orgánico. Lo cual indica que este sedimento al presentar mucho material orgánico, es muy putrescible.

El material fino del sedimento es debido al origen del agua; al tratarse de agua subterránea, la cantidad de sólidos depositados será pequeña, y serán sólidos muy finos. El análisis de la fracción inorgánica (residuo a 850°C.), indica que el mayor componente de esta ceniza son los hidróxidos de calcio y magnesio (97%), y carbonatos de calcio y magnesio (2,78%).

El volumen de sedimento, casi completamente saturado, calculado fue de 60.14 m³, pero sin la humedad el sedimento acumulado neto sería de 18.68 m³. Cabe recalcar que este resultado de sedimento es aproximado, debido a que las alturas del mismo se midieron con un flexómetro, ya que no se pudo obtener la superficie de volumen con la estación total.

5.8 Topografía y batimetría

Al generar el modelo de la topografía, se pudo obtener las diferentes profundidades que tiene el agua en esta laguna. Siendo la mayor de 1.31 m, la promedio de 1.05 m y la mínima de 0.81 m.

Además, este modelo permitió identificar una concavidad dentro del fondo, la cual como se pudo observar al realizar la limpieza de fondo, causó problema porque el agua se quedó empozada, dificultando su salida por el canal de vaciado.

5.1.9 Características hidráulicas

Caudales

El caudal de ingreso es prácticamente constante, como se puede ver en la Tabla 39. El caudal promedio de ingreso es de 0.31 l/s.

Para el caudal de salida se utilizó el método de área/sección, pero los resultados podrían no ser muy exactos debido a la irregularidad de la forma del caudal de salida. Por esto, para facilidad de cálculo, se asumió una sección de forma rectangular. El caudal promedio a la salida, es de 0.39 l/s.

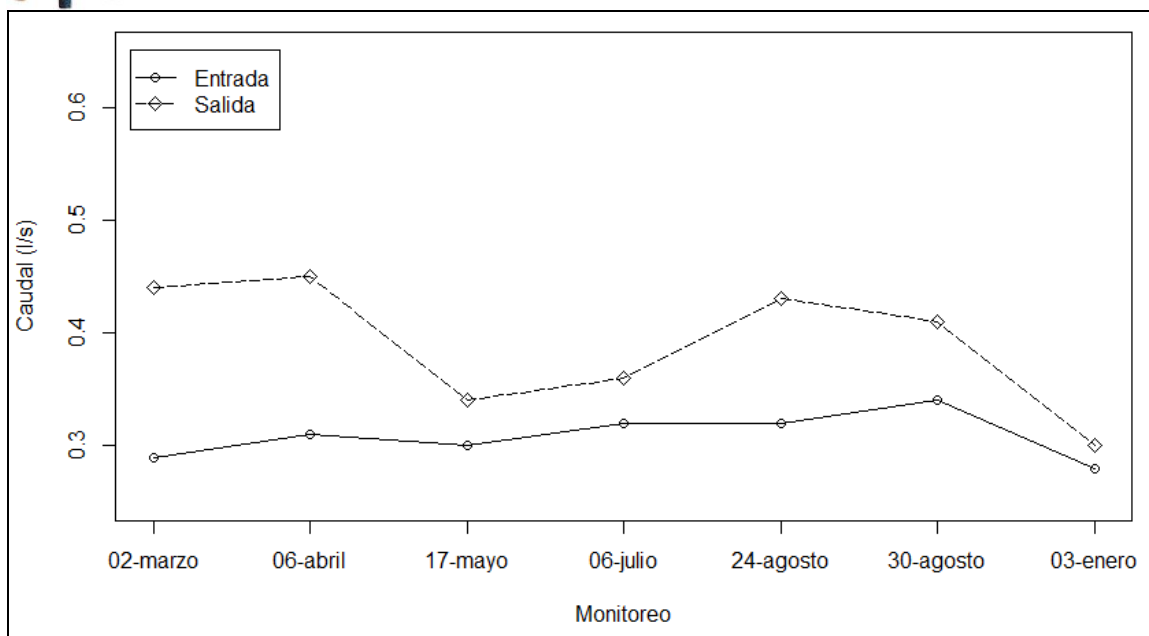


Ilustración 52 Caudales de ingreso y caudales de salida.

El caudal de ingreso y de salida son muy bajos; por eso los períodos de retención son altos, lo que favorece la eutrofización.

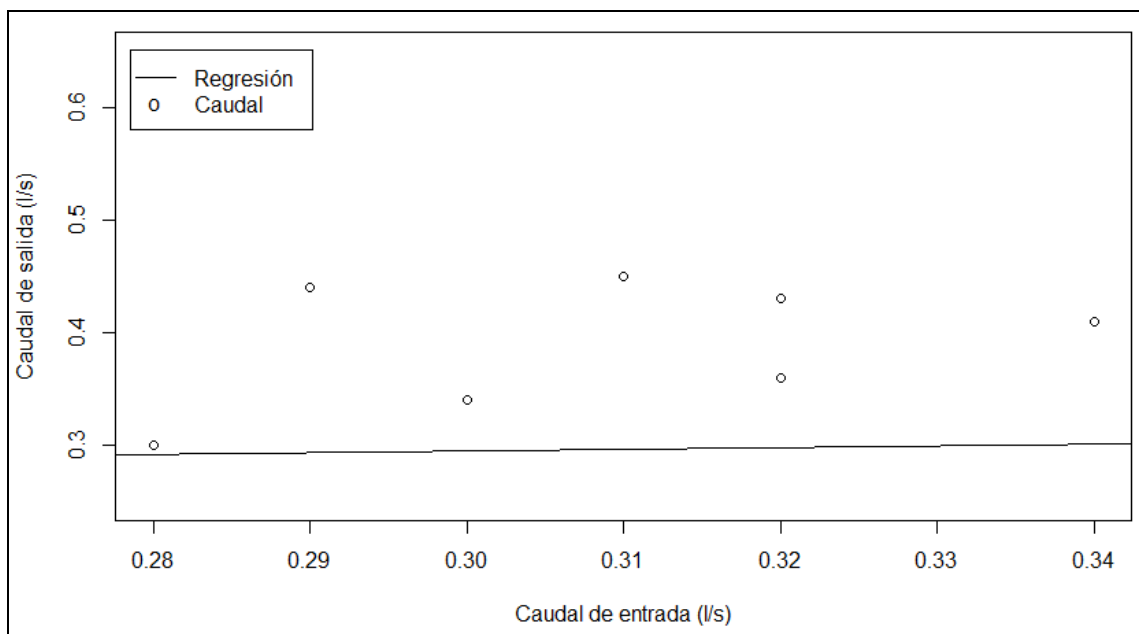


Ilustración 53 Caudales de ingreso y caudales de salida (correlación).

En la Ilustración 53, se comparan los dos caudales. El valor del coeficiente de correlación R de Pearson es de 0.17, lo cual indica que no existe una correlación entre ellos.



Esta baja correlación, se debe a que el caudal de salida se encuentra afectado por la lluvia. Además, como se indicó, el aforo de este caudal fue un aproximado.

Flujos preferenciales

La simulación de flujo dio como resultado velocidades que varían entre 0 y 6 mm/s, por lo que las aguas tienen poco movimiento dentro de la laguna. En la Ilustración 54, se puede observar las posibles direcciones que tiene el flujo de agua en la laguna y en la Ilustración 55, se indican las posibles zonas de flujo muerto.

A pesar de tener las líneas de direcciones de flujo, estos tienen velocidades muy bajas, siendo la máxima de 6 mm/s que se produce a la salida del agua. Por lo que se puede decir que el agua tiene un flujo prácticamente estático que favorece a los procesos de eutrofización.

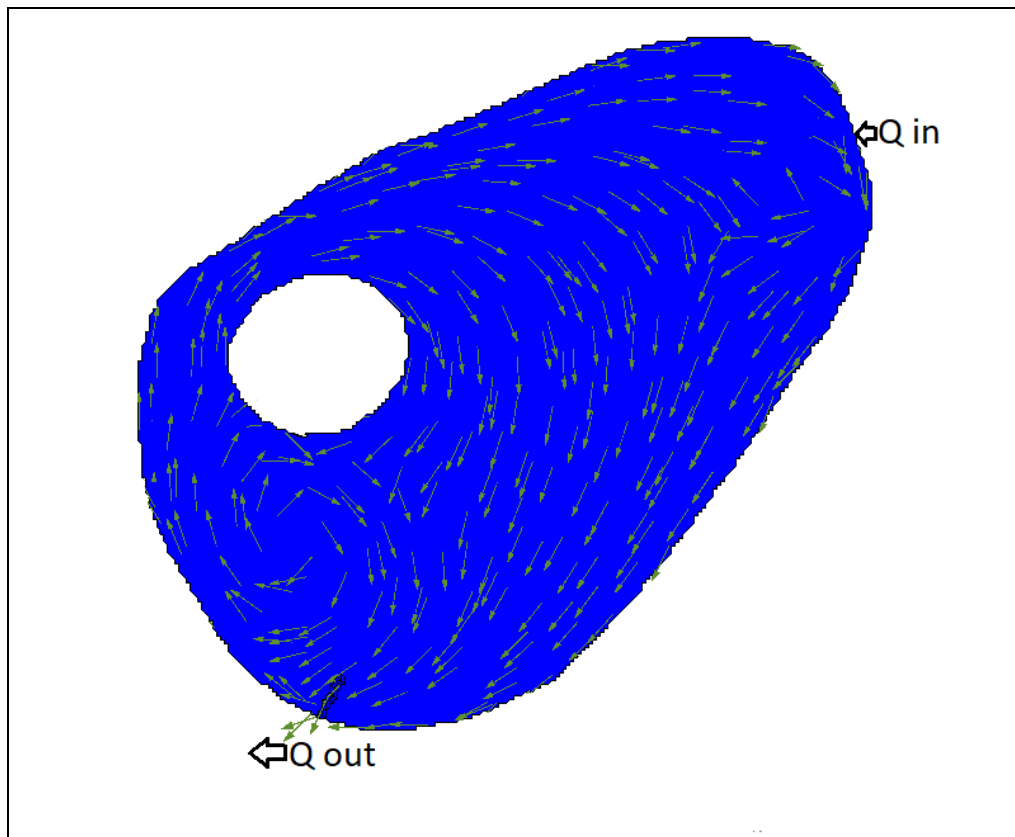


Ilustración 54 Líneas de flujos preferenciales dentro de la laguna.

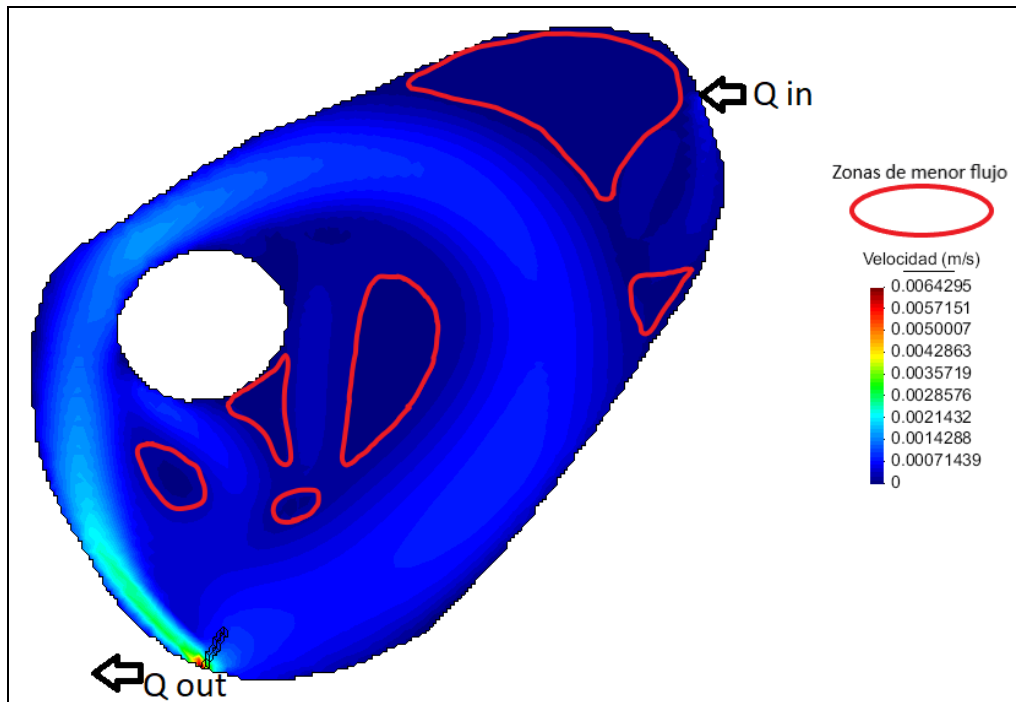


Ilustración 55 Zonas de flujo muertas dentro de la laguna.

Aunque se observen las líneas de direcciones de flujo, estos tienen velocidades muy bajas; el mayor movimiento de agua ocurre cerca de la zona de salida de agua, con una velocidad máxima de 6 mm/s, y alrededor del borde de la laguna; y aunque se generen flujos preferenciales, las velocidades de estos son muy bajas, por lo que se puede decir que el agua tiene un flujo prácticamente estático, favoreciendo la eutrofización.

Las zonas muertas de flujo ocurren donde la velocidad de flujo es mínima, en este caso se pueden observar estas zonas en la parte central de la laguna donde existe una mayor profundidad de agua. También existe una gran zona de flujo muerto al lado del caudal de ingreso. De acuerdo al modelo realizado, las zonas de flujo muerto representan un total del 17.35% del área de la laguna, es decir 252.76 metros cuadrados.

El número de Froude, que se determinó en la simulación del flujo de la laguna, varía entre 0 y 0.002, por lo que el flujo de agua en la laguna es laminar.



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

1. La calidad de agua en la laguna del Parque “Marco Romero Heredia” del cantón Azogues, cumple con algunos parámetros establecidos en la normativa de referencia, como: porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, pH, agentes tensoactivos y grasas. No se cumple con otros parámetros, como: material flotante y la relación fósforo - nitrógeno. En lo que se refiere a coliformes totales y E. coli no se cumplen en algunas estaciones.
2. Los parámetros que no se cumplen, excepto la relación N/P, son debidos a acciones antropogénicas.
3. Según los índices de eutrofización empleados en la valoración de su estado trófico, la laguna se encuentra en un alto grado de trofia, siendo más crítico el debido a la presencia de fósforo que la catalogan con *hipertrofia* según los dos índices; y por la presencia de clorofila, el estado de la laguna es de *eutrofia*, según el índice de la OCDE.
4. Estas características no le permiten a la laguna un uso seguro del agua; quizás el aspecto más desfavorable es su estética, debido a la presencia de organismos fotosintéticos, como las algas.
5. La fuente de abastecimiento es un suministro de agua subterránea, que mediante una conducción realizada años atrás, esta llega hacia la laguna, la misma que posee nitrógeno y fósforo en concentraciones suficientes para propiciar un desarrollo masivo de algas, cuando la masa de agua se expone a la acción del sol. Esta situación se apeora por la adición de basura y desechos orgánicos humanos (heces y orina), constituyendo un aporte adicional de fósforo y nitrógeno que agrava el estado trófico.
6. Una laguna con altos niveles de nutrientes como fósforo y nitrógeno, es un ambiente propicio para un brote de cianobacterias. Estas bacterias pueden resultar perjudiciales para la salud.
7. Cuando las algas mueren se sedimentan en el fondo de la laguna, y como se trata de materia orgánica, experimentan descomposición con elevados consumos de oxígeno, lo que puede generar condiciones de anaerobiosis al fondo, con la consecuente emisión de olores desagradables al momento de evacuar los lodos.
8. Existe un flujo casi estático en la laguna; los valores de velocidad encontrados con la simulación varían entre 0 (zonas muertas de flujo) y 6 mm/s (cuando el flujo está cerca del



caudal de salida). Estos valores son comunes en cuerpos lagunares (Sierra, 2011), y favorecen un ambiente propicio para la eutrofización.

9. En definitiva se trata de un cuerpo de agua transparente, de baja turbidez, que permite el ingreso de la luz solar a toda la profundidad de la laguna, la que, al poseer velocidades de circulación muy bajas, generan períodos de retención muy altos, favoreciendo la eutrofización total del cuerpo lagunar, ya que adicionalmente posee nitrógeno y fósforo en concentraciones suficientes.

10. Análisis adicionales de metales pesados como: aluminio, cromo, níquel, zinc, hierro, cobre y manganeso, muestran valores muy pequeños que no entrañan peligrosidad alguna.

11. Esporádicamente se detecta un valor muy alto para la Demanda Química del Agua, (155,69 mg/L), esto significa la presencia de contaminantes oxidables pero que ingresan externamente; algunos de estos pueden ser tóxicos.

12. Estos inconvenientes sugieren la necesidad de desinfectar el agua; el desinfectante usado eliminará tanto bacterias como algas, consiguiendo propiedades físicas y microbiológicas aceptables. La presencia masiva de algas, cambia la composición química del agua.

6.2 Recomendaciones

1. Es absolutamente necesario proceder con un sistema de desinfección continuo en la laguna. El desinfectante utilizado por razones de tipo económico y por todas las bondades demostradas a lo largo de su uso es el cloro, el cual puede ser dosificado en forma de solución (hipoclorito de calcio) directamente desde una caseta instalada con este fin. El cloro adicionado desinfecta bacterias y algas, y es necesario que el tratamiento sea preventivo, puesto que una vez que se desarrollan, su eliminación es muy dificultosa por altas que sean las dosis de desinfectante usadas.

Las ventajas de la desinfección son importantes, permiten:

- Mejorar características estéticas
- Cumplimiento de una normativa establecida para este uso
- Evitar la formación de lodos orgánicos en exceso
- Evitar la presencia de masas algales suspendidas (masas flotantes).
- Disminuir la cantidad de bacterias coliformes.

2. Para conocer las dosis a adicionar, es necesario realizar ensayos de la “demanda de cloro”, las cuales pueden ser realizadas en el Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de



Ingeniería de la Universidad de Cuenca, la cual compromete su contingente para el adiestramiento del personal encargado de realizar esta actividad.

3. La desinfección del agua es una técnica, para que sea eficiente se debe tener en cuenta los siguientes aspectos: la dosis de desinfectante, el período de contacto, y un eficiente mezclado del desinfectante con el agua.

4. Por la naturaleza del agua cruda, los lodos depositados no representan un volumen significativo; su composición indica poca materia orgánica, por lo tanto, son lodos poco putrescibles; no obstante, deben ser retirados periódicamente para mantener condiciones aerobias en toda la profundidad de la laguna; se recomienda su evacuación al menos cada dos años dependiendo del mecanismo que se adopte para este fin.

5. La concavidad que se presenta al fondo de la laguna, puede ser empleada como una “tolva”, para facilitar la recolección y vaciado de los lodos; se deberá instalar un mecanismo de control, como una llave, válvula, etc. que conecte a la tubería de desagüe de la laguna. Si este mecanismo no es posible por razones de pendiente u otros; entonces es necesario proceder con un sistema de drenaje de todo el fondo para evitar la acumulación de los lodos.

6. El aspecto estético de una laguna recreativa es muy importante, pues genera un efecto psicológico en los usuarios. Es necesario elaborar un plan de seguimiento de la calidad física, química y microbiológica del agua; se recomienda un análisis completo al menos dos veces al año; y controles de cloro residual libre diariamente; éste deberá ser al menos de 0,1 mg/l, para garantizar condiciones microbiológicas deseables.

7. Dentro de las instalaciones del Parque “Marco Romero Heredia”, se deben exhibir letreros con información sobre la necesidad de mantener limpia la laguna, y los peligros que entraña un agua contaminada; poco a poco se va ganando cultura de uso del recurso en los visitantes.

8. Es necesario mantener una constante vigilancia alrededor de la laguna y vigilar por el uso del recurso, esto es contacto secundario.

9. La calidad microbiológica del agua subterránea en su origen es mejor, que la que llega a la laguna; esto significa que, en las instalaciones de conducción, la calidad se deteriora debido a que no existe una infraestructura adecuada. Durante el período de evaluación, se observó que existen pozos de revisión sin tapa o con tapas que no cubren toda el área, mallas con separaciones muy grandes, entre otros; esto hace que la calidad sea muy vulnerable; se recomienda entonces brindar mayor atención a las instalaciones de conducción de agua subterránea hacia la laguna, para proteger la calidad del agua cruda que por su naturaleza es satisfactoria física y microbiológicamente.



10. El agua de la laguna debería mantener la composición química de la fuente, cualquier variación puede entenderse como un síntoma de contaminación. Por lo tanto, es importante implementar un sistema de vigilancia de calidad física, química y microbiológica del agua en la laguna.

11. Después del vaciado, se observa que el cuerpo lagunar tiene mayor poder de auto purificación, no obstante, ya muestra signos de eutrofización; ya que basta la presencia de nitrógeno, fósforo y una masa de agua expuesta al sol se genera un ambiente propicio para el desarrollo de microalgas. Esto significa que es absolutamente necesaria una desinfección permanente con cloro que eliminará bacterias y algas.

12. A pesar que el agua con la que se cambió fue agua potable, al mes del cambio presenta los mismos problemas que antes, ratificando la necesidad de la desinfección.

13. Finalmente el objetivo de este trabajo ha sido entregar a los organismos que tienen bajo su control el manejo y el cuidado de esta laguna, la mayor información posible que permita un diagnóstico claro y oportuno sobre su estado; así como las medidas más adecuadas para conseguir que este espacio de esparcimiento sea seguro y brinde la garantía necesaria para su uso, sobre todo a los niños.



7. BIBLIOGRAFÍA

Arango, R. (2017). Información sobre mantenimiento de la laguna del Parque Infantil Marco Romero Heredia.

ASTM C128-15. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM C566-13. (2013). *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

Azevedo, H. L., Monken, H. R., & Melo, V. P. (1988). *Study of heavy metal pollution in the tributary rivers of Jacarepagua Lagoon, Rio de Janeiro State, Brazil, through sediment analysis*. Springer.

California Environmental Protection Agency. (2010). Folleto Informativo Temperatura. Recuperado el 6 de enero de 2018, a partir de <https://www.waterboards.ca.gov/>

Callisto, M., & Esteves, F. A. (1996). Composição granulométrica do sedimento de um lago Amazônico impactado por rejeito de bauxita e um lago natural (Pará, Brasil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 8, 115–126.

Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and oceanography*, 22(2), 361–369.

Carlson, R. E., & Simpson, J. (1996). A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods. *North American Lake Management Society*, 96, 305.

Carmichael, W. W. (1992). Cyanobacteria secondary metabolites—the cyanotoxins. *Journal of Applied Microbiology*, 72(6), 445–459.

Casanova, L. (2002). *Topografía Plana*. Mérida: Taller de Publicaciones de Ingeniería ULA.

Caspers, H. (1984). OECD: Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. Paris: Organisation for Economic Co- Operation and Development 1982. (Publié en français sous le titre »Eutrophication des Eaux. Méthodes de Surveillance, d'Evaluation et de Lutte«). *International Review of Hydrobiology*, 69(2), 200–200. <https://doi.org/10.1002/iroh.19840690206>

Catalán Lafuente, J., & Catalán Alonso, J. M. (1987). *Ríos: caracterización y calidad de sus aguas*. Madrid: Librería Editorial Bellisco.

Cea, L., & Bladé, E. (2008). Modelación matemática en lecho fijo del flujo en ríos. Modelos 1D y 2D en régimen permanente y variable. *Jornadas Técnicas sobre Hidráulica Fluvial, CEDEX–Ministerio de Fomento*.



- Chow, V. T. (1998). *Hidráulica de los canales abiertos*. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill.
- da Cunha, H. B., & Correa, G. F. (2011). AVALIAÇÃO DO GRAU DE EUTROFIZAÇÃO DE DOIS IGARAPÉS URBANOS DE MANAUS-AM.
- Díaz Delgado, C., Esteller Alberich, M. V., & López-Vera, F. (2006). Recursos hídricos conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ingeniería, Centro Interamericano de Recursos del Agua ; Pariguazú.
- Díaz, R. (2017). Hipoclorito de Calcio: Fórmula, Propiedades, Riesgos y Usos. Recuperado el 22 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.lifeder.com/hipoclorito-de-calcio/>
- Falconer, R. A., Lin, B., Kay, D., & Stapleton, C. (1998). Predicting coastal health risks using combined water quality and epidemiological models. En *Hydroinformatics' 98* (pp. 1213–1218). AA Balkema, Rotterdam.
- Flores, R. A. (2014). *Manual de operación del agua recreativa: riesgos, tratamientos y normas*. México: Trillas.
- Franco, D. P. M., Manzano, J. Q., & Cuevas, A. L. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Contactos*, 78, 25–33.
- Health Canada. (2012). *Guidelines for Canadian recreational water quality*. Ottawa: Health Canada. Recuperado a partir de http://epe.lac-bac.gc.ca/100/201/301/weekly_checklist/2012/internet/w12-44-U-E.html/collections/collection_2012/sc-hc/H129-15-2012-eng.pdf
- Hudson, N. (1993). *Field measurement of soil erosion and runoff*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Iber. (s/f-a). Hidrodinámica. Recuperado el 30 de noviembre de 2017, a partir de <http://iberaula.es/modelo-iber/hidrodinamica>
- Iber. (s/f-b). Presentación [Iber]. Recuperado el 1 de diciembre de 2017, a partir de <http://iberaula.es/aula-iber/presentacion>
- La Jeunesse, I. (2001). *Etude intégrée dynamique du phosphore dans le système bassin versant-lagune de Thau*. Université d'Orléans.
- López, M., & Madroñero, S. (2015). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: Caso Laguna de la Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 21–42.
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Barcelona: Omega.
- Morales, G. (2004). Crecimiento y eficiencia alimentaria de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas bajo diferentes regímenes de alimentación. *Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía*.



National Health and Medical Research Council (Australia). (2008). *Guidelines for Managing Risks in Recreational Waters*. Canberra, ACT: Australian Government, National Health and Medical Research Council.

Naumann, E. (1930). *Einführung in die Bodenkunde der Seen*.

OCDE. (2017). OCDE. Recuperado el 26 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.oecd.org/centrodemexico/laocde/>

Pond, K. (2005). *Water recreation and disease: plausibility of associated infections: acute effects, sequelae and mortality*. London: IWA Publ.

Realizan limpieza de la laguna del Parque Infantil “Marco Romero Heredia”. (2012). Recuperado a partir de <http://azogues.gob.ec/portal25/index.php/noticias/obras/3390-realizan-limpieza-de-la-laguna-del-parque-infantil-marco-romero-heredia>

Reinoso, V. (2016, diciembre 16). Información sobre laguna del Parque Infantil “Marco Romero Heredia”.

Ressom, R. (1994). *Health effects of toxic cyanobacteria (blue-green algae)*. National Health and Medical Research Council.

Romero Rojas, J. A. (2005). *Calidad del agua*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Se contratará estudios para extracción de agua subterránea a favor de la laguna del Parque Infantil. (2010). Recuperado el 15 de diciembre de 2016, a partir de <http://www.azogues.gob.ec/portal25/index.php/noticias/proyectos/1173--se-contrataran-estudios-para-extraccion-de-agua-subterranea-a-favor-de-laguna-del-parque-infantil>

Sierra, C. A. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico* (1a ed). Medellín: Ediciones de la U.

Silvério, P. (2006). O Processo de Regulamentação do Uso de Fósforo em detergente em Pó no Brasil. *Eutrofização na América do Sul: causas, consequências e tecnologias para gerenciamento e control*.

Thomann, R. V., & Mueller, J. A. (1987). *Principles of surface water quality modeling and control*. New York: Harper & Row.

Torres, A., & Villate, E. (1968). *Topografía*. Bogota: Editorial Norma.

USGS. (2016). Estimation of Secchi Depth from Turbidity Data in the Willamette River at Portland, OR. Recuperado el 9 de diciembre de 2017, a partir de https://or.water.usgs.gov/will_morrison/secchi_depth_model.html

Wetzel, R. G. (1981). *Limnología*. Barcelona: Omega.



Universidad de Cuenca

WHO (Ed.). (2003). *Guidelines for safe recreational water environments*. Geneva: World Health Organization.

Wright, R. T., & Nebel, B. J. (2002). *Environmental science: toward a sustainable future* (8va ed). Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall.

YSI EXO2. (2017). Recuperado el 26 de abril de 2017, a partir de <https://www.ysi.com/exo2>

Zouiten, H. (2012). *Análisis mediante modelado avanzado de procesos de eutrofización en lagunas litorales: aplicación a masas de agua Atlánticas y Mediterráneas*. Universidad de Cantabria, Santander.



8. ANEXOS

Anexo 1. Tiempos aforados para el cálculo del caudal de ingreso durante las siete campañas de monitoreo.

Tabla 44 Tiempos medidos para el cálculo del caudal de entrada a la laguna.

Fecha	Volumen (l)	Tiempo 1 (s)	Tiempo 2 (s)	Tiempo 3 (s)	Tiempo 4 (s)	Tiempo 5 (s)	Tiempo promedio (s)
02-marzo-17	1	3.51	3.62	3.45	3.35	3.58	3.50
06-abril-17	1	3.35	3.15	3.22	3.36	3.15	3.25
17-mayo-17	1	3.26	3.44	3.39	3.52	3.24	3.37
06-julio-17	1	3.11	3.17	3.17	3.22	3.01	3.14
24-agosto-17	1.585	5.37	4.58	4.79	5.02	4.89	4.93
30-agosto-17	1.2	3.47	3.75	3.44	3.71	3.38	3.55
03-enero-18	1.6	5.48	5.53	5.66	5.8	5.72	5.638



Anexo 2. Valores utilizados para el cálculo del Disco de Secchi, para la clasificación del estado trófico de la laguna en cada estación de aforo.

Tabla 45 Valores aforados durante el primer monitoreo 02 marzo 2017.

Parámetros	Entrada laguna	Junto a la isla	Bajo el puente	Muelle	Salida laguna	Unidad
Clorofila superficie	6.26	5.84	10.60	8.17	10.61	ug/l
Clorofila medio	8.23	8.49	9.15	10.29	9.02	ug/l
Clorofila fondo	9.32	15.19	9.21	10.28	9.94	ug/l
Clorofila máxima	9.32	15.19	10.6	10.29	10.61	ug/l
Clorofila promedio	7.94	9.84	9.65	9.58	9.86	ug/l
Turbiedad	6.04	15.80	15.20	14.00	14.20	UNF, UFT
Disco de Secchi	1.08	0.58	0.60	0.63	0.63	m
Fósforo total	2.32	0.67	0.19	1.22	1.25	mg/l
IET Cl "a"	50.89	53.00	52.81	52.74	53.02	
IET PT	103.71	121.61	139.66	113.02	112.67	
IET DS	58.91	67.75	67.39	66.64	66.77	

Tabla 46 Valores aforados durante el segundo monitoreo 06 abril 2017.

Parámetros	Entrada laguna	Junto a la isla	Bajo el puente	Muelle	Salida laguna	Unidad
Clorofila superficie	7.61	5.21	10.35	7.14	6.12	ug/l
Clorofila medio	7.51	5.59	13.40	6.98	5.12	ug/l
Clorofila fondo	7.06	6.16	7.32	5.95	6.42	ug/l
Clorofila máxima	7.61	6.16	13.40	7.14	6.42	ug/l
Clorofila promedio	7.39	5.65	10.36	6.69	5.89	ug/l
Turbiedad	10.42	11.25	11.20	15.60	9.94	UNF, UFT
Disco de Secchi	0.76	0.73	0.73	0.59	0.79	m
Fósforo total	2.26	2.39	2.52	0.82	0.32	mg/l
IET Cl a	50.20	47.56	53.50	49.21	47.96	
IET PT	104.09	103.28	102.52	118.75	132.15	
IET DS	63.92	64.63	64.59	67.63	63.49	



Tabla 47 Valores aforados durante el tercer monitoreo 17 mayo 2017.

Parámetros	Entrada laguna	Junto a la isla	Bajo el puente	Muelle	Salida laguna	Unidad
Clorofila superficie	3.13	3.64	4.66	2.59	1.64	ug/l
Clorofila medio	4.05	6.11	4.78	3.75	3.58	ug/l
Clorofila fondo	4.20	6.31	7.12	6.78	6.04	ug/l
Clorofila máxima	4.20	6.31	7.12	6.78	6.04	ug/l
Clorofila promedio	3.79	5.35	5.52	4.37	3.75	ug/l
Turbiedad	7.76	6.28	5.51	6.10	5.27	UNF, UFT
Disco de Secchi	0.92	1.05	1.14	1.07	1.18	m
Fósforo total	0.79	1.90	2.18	2.38	2.00	mg/l
IET Cl a	43.65	47.03	47.33	45.04	43.54	
IET PT	119.18	106.59	104.61	103.34	105.85	
IET DS	61.22	59.27	58.07	59.00	57.66	

Tabla 48 Valores aforados durante el cuarto monitoreo 06 julio 2017.

Parámetros	Entrada laguna	Junto a la isla	Bajo el puente	Muelle	Salida laguna	Unidad
Clorofila superficie	10.56	2.77	5.42	4.82	4.42	ug/l
Clorofila medio	10.63	5.93	9.64	8.02	9.5	ug/l
Clorofila fondo	13.39	11.66	10.23	11.37	10.67	ug/l
Clorofila máxima	13.39	11.66	10.23	11.37	10.67	ug/l
Clorofila promedio	11.53	6.79	8.43	8.07	8.20	ug/l
Turbiedad	7.41	8.19	8.05	7.95	7.90	NTU, FTU
Disco de Secchi	0.95	0.89	0.90	0.91	0.91	m
Fósforo total	2.95	0.545	0.399	0.410	0.405	mg/l
IET Cl a	54.55	49.36	51.48	51.05	51.21	
IET PT	100.24	124.61	129.11	128.71	128.89	
IET DS	60.79	61.71	61.55	61.44	61.38	



Tabla 49 Valores aforados durante el quinto monitoreo 24 agosto 2017.

Parámetros	Entrada laguna	Junto a la isla	Bajo el puente	Muelle	Salida laguna	Unidad
Clorofila superficie	11.72	9.07	6.47	9.67	7.92	ug/l
Clorofila medio	12.62	10.56	8.16	12.12	11.82	ug/l
Clorofila fondo	13.51	15.36	15.02	18.54	16.83	ug/l
Clorofila máxima	13.51	15.36	15.02	18.54	16.83	
Clorofila promedio	12.62	11.66	9.88	13.44	12.19	
Turbiedad	8.95	9.19	7.97	7.85	8.70	NTU, FTU
Disco de Secchi	0.84	0.83	0.90	0.91	0.85	
Fósforo total	3.47	0.68	0.21	0.59	0.29	mg/l
IET Cl a	55.44	54.67	53.04	56.06	55.10	
IET PT	97.90	121.41	138.37	123.46	133.71	
IET DS	62.53	62.77	61.46	61.32	62.27	

Tabla 50 Valores aforados durante el sexto monitoreo 30 agosto 2017.

Parámetros	Entrada laguna	Junto a la isla	Bajo el puente	Muelle	Salida laguna	Unidad
Clorofila superficie	10.56	2.77	5.42	4.82	4.42	ug/l
Clorofila medio	10.63	5.93	9.64	8.02	9.5	ug/l
Clorofila fondo	13.39	11.66	10.23	11.37	10.67	ug/l
Clorofila máxima	13.39	11.66	10.23	11.37	10.67	ug/l
Clorofila promedio	11.53	6.79	8.43	8.07	8.20	ug/l
Turbiedad	7.41	8.19	8.05	7.95	7.90	NTU, FTU
Disco de Secchi	0.95	0.89	0.90	0.91	0.91	m
Fósforo total	2.95	0.545	0.399	0.410	0.405	mg/l
IET Cl a	54.55	49.36	51.48	51.05	51.21	
IET PT	100.24	124.61	129.11	128.71	128.89	
IET DS	60.79	61.71	61.55	61.44	61.38	



Universidad de Cuenca

Anexo 3. Fotografías durante el vaciado de la laguna.



Fotografía 16 Inicio del vaciado de agua en la laguna.



Fotografía 17 Retiro de material acumulado en la compuerta del canal de evacuación de agua.



Fotografía 18 Tubería que protege la palanca para abrir la compuerta del canal.



Fotografía 19 Paredes de mampostería llenas de algas verdes.



Fotografía 20 Alambres y palos cubiertos de algas verdes.



Fotografía 21 Ropa cubierta de algas verdes.



Fotografía 22 Lodo sedimentado al fondo de la laguna.



Fotografía 23 Paredes de mampostería y tubería PVC a la entrada de agua a la laguna con presencia de algas verdes.



Fotografía 24 Presencia de variedad de artículos en el fondo del muelle cubiertos con algas verdes.



Universidad de Cuenca



Fotografía 25 Personas ingresando a la laguna sin protección para llevar los peces que se encontraron en la misma.



Anexo 4. Medidas de las Alturas de lodo presentes en la laguna.

Tabla 51 Altura de lodo en el interior de la laguna.

Punto	Altura sediment o (cm)	Punto	Altura sediment o (cm)	Punto	Altura sediment o (cm)	Punto	Altura sediment o (cm)	Punto	Altura sediment o (cm)	Punto	Altura sediment o (cm)	Punto	Altura sediment o (cm)	Punto	Altura sediment o (cm)
1	2.5	41	2.2	81	3	121	6	161	7	201	3	241	8	281	7
2	2	42	1.5	82	3.5	122	4	162	6	202	3	242	9	282	5
3	2	43	2.5	83	3	123	5	163	5	203	3	243	10	283	6.5
4	1	44	2	84	9	124	4	164	7	204	5	244	4	284	7
5	1.5	45	2.8	85	8.5	125	4	165	7	205	4.5	245	5	285	7
6	1	46	2	86	9	126	5	166	7	206	4	246	5	286	6
7	1.5	47	2.5	87	8	127	5	167	5	207	5.5	247	7	287	7
8	1.5	48	3.5	88	8	128	5	168	6	208	4	248	6	288	7
9	2	49	4.5	89	8.5	129	7	169	5.5	209	4	249	6.5	289	5
10	1	50	5	90	8	130	6	170	5.5	210	4	250	5.5	290	5
11	2	51	5	91	9	131	7	171	6	211	4	251	6	291	5
12	1.5	52	5	92	9	132	6.5	172	6	212	4	252	6	292	4
13	1.8	53	6	93	8	133	7	173	7	213	4	253	6	293	3
14	1.5	54	6	94	7.5	134	7	174	6.5	214	3	254	6.5	294	6
15	1	55	5	95	8	135	6.5	175	7	215	3	255	7	295	7
16	1.5	56	6	96	7.5	136	5	176	6.5	216	3	256	6.5	296	6.5
17	2	57	5.5	97	8	137	5	177	6	217	3.5	257	7	297	6
18	2	58	6	98	7	138	5	178	5.5	218	3.5	258	7	298	7
19	2	59	5	99	3	139	5	179	6.5	219	3.5	259	7	299	6
20	1.8	60	5	100	4.5	140	5	180	5	220	3	260	7	300	6
21	2	61	5	101	6	141	5	181	5	221	3.5	261	7	301	7.5
22	2.5	62	5	102	6	142	6	182	5	222	3	262	7	302	7
23	3	63	5.7	103	6	143	6	183	5.5	223	3	263	7		
24	3.5	64	5	104	6	144	7	184	7	224	3	264	7		
25	3	65	5	105	7	145	6.5	185	7	225	3	265	6		
26	3	66	5	106	7	146	4	186	6.5	226	3.5	266	8		
27	3	67	7	107	7	147	3	187	7	227	5	267	7.5		
28	3	68	7	108	7	148	4	188	7	228	5	268	7		
29	3	69	7	109	6	149	4	189	3	229	11	269	7		
30	3.5	70	7	110	6	150	4	190	4	230	11	270	8		
31	2.5	71	6	111	6	151	4.5	191	5	231	10	271	7		
32	3	72	8	112	6	152	5.5	192	4.5	232	10	272	7		
33	2	73	8	113	6	153	5	193	5	233	10	273	8		
34	2.5	74	8	114	7	154	5	194	5	234	11	274	8		
35	3	75	8	115	6.5	155	5	195	5	235	9	275	7		
36	2	76	8	116	5	156	7	196	5	236	11	276	7		
37	2	77	9	117	4	157	7	197	5	237	11	277	7		
38	2	78	4	118	4.5	158	6.5	198	6	238	10	278	7		
39	3.5	79	3	119	5	159	6.5	199	3	239	10	279	7		
40	3	80	3	120	6	160	6.5	200	3	240	8	280	6		



Anexo 5. Granulometría del sedimento mediante el método del hidrómetro.

Tabla 52 Correcciones para las lecturas del hidrómetro 152H.

Corrección por temperatura (g/l)	0.06
Corrección por menisco (g/l)	0.868
Corrección por defloculante (g/l)	3
Gravedad específica G_s (g/cm ³)	2.344

Tabla 53 Análisis por hidrómetro del sedimento encontrado en la laguna.

Tiempo (min)	Lectura hidrómetro (g/l)	Lectura hidrómetro o corregida (g/l)	Temperatura (°C)	Profundidad efectiva (mm)	Diámetro partículas de suelo en suspensión (mm)	% de suelo en suspensión (%)
1	27	30.928	20.2	112	0.051	67%
2	23.5	27.428	20.2	119	0.037	59%
5	19	22.928	20.2	125	0.024	50%
15	13	16.928	20.2	135	0.014	37%
30	9	12.928	20.2	142	0.010	28%
60	6.5	10.428	20.2	147	0.008	23%
120	5	8.928	20.2	148	0.005	19%
240	4	7.928	20.2	150	0.004	17%
1440	4	7.928	17.5	150	0.002	17%



Anexo 6. Resultados del análisis de las muestras tomadas durante las siete campañas de monitoreo entregadas por el Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Cuenca.

Anexo 6.1

Ilustración 56 Resultados primer monitoreo 02 - marzo - 2017.

LABORATORIO DE SANITARIA							
RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA							
Muestra procedencia:	Laguna parque infantil Marco Romero Heredia.- Cantón Azogues.- Provincia del Cañar						
Tipo de fuente:	Subterránea						
Fecha de toma:	02 de marzo de 2017						
Fecha de Análisis:	02 de marzo de 2017						
Análisis solicitado por:	Luis Ortega - Carolina Pesántez						
PARAMETROS	#1 Entrada	#2 Lado de la Isla	#3 Puente	#4 Muelle	#5 Salida	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS							
HORA	10:00	10:10	10:25	10:35	10:45	am	
TEMPERATURA superficie	22.64	22.34	22.71	23.85	22.09	°C.	in situ
TEMPERATURA medio	20.56	20.25	21.18	20.77	20.53	°C.	in situ
TEMPERATURA fondo	20.27	20.04	20.42	20.47	20.45	°C.	in situ
OXÍGENO superficie	12.16	13.41	11.65	12.1	12.23	mg/l	in situ
OXÍGENO medio	14.11	15.0	14.29	14.35	14.31	mg/l	in situ
OXÍGENO fondo	14.37	13.69	15.22	15.24	14.54	mg/l	in situ
CLOROFILA superficie	6.26	5.84	10.60	8.17	10.61	ug/l	in situ
CLOROFILA medio	8.23	8.49	9.15	10.29	9.02	ug/l	in situ
CLOROFILA fondo	9.32	15.19	9.21	10.28	9.94	ug/l	in situ
TURBIEDAD	6.04	15.8	15.2	14.0	14.2	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	67.0	193.0	181.0	196.0	180.0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	12.0	17.0	16.0	23.0	27.0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	878.0	629.0	630.0	631.0	629.0	microsiemens/ cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS							
pH	7.74	8.85	8.80	8.79	8.84		
ALCALINIDAD TOTAL	249.6	136.4	137.0	136.6	136.8	mg/l, CaCO ₃	
ALCALINIDAD F.	0.0	20.8	20.6	20.4	24.6	mg/l, CaCO ₃	
DUREZA TOTAL	264.0	125.4	126.2	125.6	125.4	mg/l, CaCO ₃	
Ca++	78.6	34.6	34.0	34.7	34.6	mg/l	
Mg++	16.4	9.4	10.0	9.4	9.4	mg/l	por cálculo
HIERRO TOTAL	0.01	0.03	0.03	0.03	0.02	mg/l	
TANINOS Y LIGNINAS	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	mg/l	
MANGANESO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	mg/l	
COBRE	0.03	0.02	0.03	0.03	0.01	mg/l	
SILICIO	1.15	0.96	0.78	0.77	1.32	mg/l	
P. ORTOFOSFATOS DISUELTOS.	0.001	0.001	0.003	0.004	0.003	mg/l	como Fósforo
P. ORTOFOSFATOS TOTALES.	2.32	0.671	0.192	1.217	1.247	mg/l	como Fósforo
CLORUROS	33.4	32.3	32.9	32.7	32.5	mg/l	
SULFATOS	146.02	169.30	165.90	153.08	161.29	mg/l	
N. AMONIACAL	0.037	0.016	0.002	0.001	0.001	mg/l	
N. NITRITOS	13.84	36.87	38.89	51.01	33.64	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	3.391	0.854	0.574	0.585	0.567	mg/l	como Nitrógeno
ALUMINIO	0.162	0.141	0.102	0.142	0.108	mg/l	
NIQUEL	0.160	0.150	0.140	0.130	0.160	mg/l	
CROMO	0.029	0.020	0.058	0.016	0.017	mg/l	
ZINC	0.017	0.016	0.012	0.013	0.010	mg/l	
SOLIDOS TOTALES	606.0	467.0	439.0	454.0	434.0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	367.0	352.0	329.0	319.0	321.0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	239.0	115.0	110.0	135.0	113.0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	28.0	36.0	30.0	35.0	28.0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	15.0	5.0	2.0	4.0	2.0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	13.0	31.0	28.0	31.0	26.0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	578.0	431.0	409.0	419.0	406.0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	352.0	347.0	327.0	315.0	319.0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	226.0	84.0	82.0	104.0	87.0	mg/l	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	6.21	5.96	4.76	5.57	5.80	mg/l	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	42.77					mg/l	
PARÁMETROS BIOLÓGICOS							
COLIFORMES TOTALES	1.10E+04	2.70E+03	1.10E+03	2.20E+03	3.30E+03	NMP/100ml	37°C. 24H
E. COLI	2.00E+02	1.10E+03	4.50E+02	4.50E+02	7.80E+02	NMP/100ML	37°C. 24H



Anexo 6.2

Ilustración 57 Resultados segundo monitoreo 06 - abril - 2017.

LABORATORIO DE SANITARIA							
RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA							
Muestra procedencia:	Laguna parque infantil Marco Romero Heredia.- Cantón Azogues.- Provincia del Cañar						
Tipo de fuente:	Subterránea						
Fecha de toma:	06 de abril de 2017						
Fecha de Análisis:	06 de abril de 2017						
Análisis solicitado por:	Luis Ortega - Carolina Pesántez						
PARAMETROS	#1 Entrada	#2 Lado de la Isla	#3 Puente	#4 Muelle	#5 Salida	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS							
HORA	10:15	10:55	11:10	10:35	11:25		
TEMPERATURA superficie	19.49	19.52	19.73	19.40	19.60	°C.	in situ
TEMPERATURA medio	19.55	19.49	19.66	19.47	19.57	°C.	in situ
TEMPERATURA fondo	19.55	19.49	19.60	19.49	19.51	°C.	in situ
OXÍGENO superficie	9.0	9.60	10.06	9.10	9.67	mg/l	in situ
OXÍGENO medio	9.67	10.08	10.26	9.90	10.21	mg/l	in situ
OXÍGENO fondo	9.75	10.10	10.35	9.92	10.30	mg/l	in situ
CLOROFILA superficie	7.61	5.21	10.35	7.14	6.12	ug/l	in situ
CLOROFILA medio	7.51	5.59	13.40	6.98	5.12	ug/l	in situ
CLOROFILA fondo	7.06	6.16	7.32	5.95	6.42	ug/l	in situ
TURBIEDAD	10.42	11.25	11.2	15.6	9.94	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	138.0	145.0	147.0	157.0	150.0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	10.0	14.0	21.0	15.0	15.0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	624.0	625.0	617.0	620.0	618.0	microsiemens/ cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS							
pH	8.45	8.61	8.64	8.57	8.63		
ALCALINIDAD TOTAL	132.8	130.6	124.6	134.8	133.8	mg/l, CaCO3	
ALCALINIDAD F.	18.6	18.8	17.2	17.6	17.4	mg/l, CaCO3	
DUREZA TOTAL	132.6	129.0	123.8	126.0	131.2	mg/l, CaCO3	
Ca++	34.7	38.2	33.6	36.9	34.2	mg/l	
Mg++	11.1	8.2	9.7	8.2	11.1	mg/l	por cálculo
P.ORTOFOSFATOS DISUELTOS.	0.018	0.017	0.120	0.018	0.015	mg/l	como Fósforo
P.ORTOFOSFATOS TOTALES.	2.26	2.39	2.52	0.818	0.323	mg/l	como Fósforo
CLORUROS	30.3	28.4	28.2	30.5	31.3	mg/l	
N. AMONIACAL	0.083	0.043	0.577	0.030	0.026	mg/l	
N. NITRITOS	16.27	21.12	30.81	19.50	21.92	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	0.733	0.716	0.664	0.716	0.699	mg/l	como Nitrógeno
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	5.27	6.01	6.31	5.29	5.52	mg/l	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	155.69				143.71	mg/l	
PARÁMETROS BIOLÓGICOS							
COLIFORMES TOTALES	7.90E+02	1.40E+03	1.40E+03	9.40E+02	2.60E+02	NMP/100ml	37°C. 24H
E. COLI	3.30E+02	3.30E+02	1.70E+02	4.00E+01	1.10E+02	NMP/100ML	37°C. 24H



Anexo 6.3

Ilustración 58 Resultados tercer monitoreo 17 - mayo - 2017.

LABORATORIO DE SANITARIA							
RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA							
Muestra procedencia:	Laguna parque infantil Marco Romero Heredia.- Cantón Azogues.- Provincia del Cañar						
Tipo de fuente:	Subterránea						
Fecha de toma:	17 de mayo de 2017						
Fecha de Análisis:	17 de mayo de 2017						
Análisis solicitado por:	Luis Ortega - Carolina Pesántez						
PARAMETROS	#1 Entrada	#2 Lado de la Isla	#3 Puente	#4 Muelle	#5 Salida	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS							
HORA	10:10	10:20	10:30	10:40	10:52	am	
TEMPERATURA superficie	21.32	20.99	21.21	21.39	21.20	°C.	in situ
TEMPERATURA medio	20.94	20.43	20.78	20.69	20.84	°C.	in situ
TEMPERATURA fondo	20.82	20.27	20.42	20.47	20.40	°C.	in situ
OXÍGENO superficie	9.4	9.72	10.32	10.17	10.37	mg/l	in situ
OXÍGENO medio	10.05	10.69	10.93	10.91	11.11	mg/l	in situ
OXÍGENO fondo	10.25	11.04	11.5	11.15	11.70	mg/l	in situ
CLOROFILA superficie	3.13	3.64	4.66	2.59	1.64	ug/l	in situ
CLOROFILA medio	4.05	6.11	4.78	3.75	3.58	ug/l	in situ
CLOROFILA fondo	4.2	6.31	7.12	6.78	6.04	ug/l	in situ
TURBIEDAD	7.76	6.28	5.51	6.10	5.27	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	88.0	71.0	79.0	67.0	65.0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	18.0	28.0	29.0	25.0	22.0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	641.0	636.0	637.0	638.0	637.0	microsiemens/ cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS							
pH	8.60	8.59	8.58	8.57	8.45		
ALCALINIDAD TOTAL	156.6	156.4	159.2	156.8	156.4	mg/l, CaCO ₃	
ALCALINIDAD F.	12.2	19.4	25.8	17.4	20.2	mg/l, CaCO ₃	
DUREZA TOTAL	151.0	150.2	140.4	129.8	128.8	mg/l, CaCO ₃	
Ca++	46.5	46.1	26.5	37.0	49.1	mg/l	
Mg++	8.5	8.5	18.0	9.0	1.5	mg/l	por cálculo
P.ORTOFOSFATOS DISUELTOS.	0.209	0.015	0.012	0.014	0.028	mg/l	como Fósforo
P.ORTOFOSFATOS TOTALES.	0.794	1.90	2.18	2.38	2.0	mg/l	como Fósforo
CLORUROS	37.7	29.0	32.2	26.5	28.4	mg/l	
N. AMONIACAL	0.020	0.007	0.010	0.010	0.010	mg/l	
N. NITRITOS	34.45	29.20	30.0	36.47	37.45	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	1.387	1.131	1.103	1.231	1.186	mg/l	como Nitrógeno
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	2.71	3.00	3.01	3.46	3.16	mg/l	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	50.03	50.03	46.18	51.83	50.03	mg/l	
PARÁMETROS BIOLÓGICOS							
COLIFORMES TOTALES	7.00E+02	1.70E+03	1.70E+03	9.20E+03	1.70E+03	NMP/100ml	37°C. 24H
E. COLI	1.10E+02	9.20E+01	7.80E+01	1.10E+02	6.80E+01	NMP/100ML	37°C. 24H



Anexo 6.4

Ilustración 59 Resultados cuarto monitoreo 06 - julio - 2017.

LABORATORIO DE SANITARIA							
RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA							
Muestra procedencia:	Laguna parque infantil Marco Romero Heredia.- Cantón Azogues.- Provincia del Cañar						
Tipo de fuente:	Subterránea						
Fecha de toma:	06 de julio de 2017						
Fecha de Análisis:	06 de julio de 2017						
Análisis solicitado por:	Luis Ortega - Carolina Pesántez						
PARAMETROS	#1 Entrada	#2 Lado de la Isla	#3 Puente	#4 Muelle	#5 Salida	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS							
HORA	10:15	10:31	10:45	11:00	11:15	am	
TEMPERATURA superficie	18.24	18.09	18.24	18.67	18.33	°C.	in situ
TEMPERATURA medio	17.93	17.85	17.93	18.29	18.18	°C.	in situ
TEMPERATURA fondo	18.0	17.75	17.89	18.11	17.98	°C.	in situ
OXÍGENO superficie	9.3	9.71	9.96	9.70	9.84	mg/l	in situ
OXÍGENO medio	9.61	9.97	10.28	9.88	10.27	mg/l	in situ
OXÍGENO fondo	9.52	10.15	10.55	10.15	10.36	mg/l	in situ
CLOROFILA superficie	1.1	1.17	1.95	1.62	0.98	ug/l	in situ
CLOROFILA medio	2.12	1.67	1.98	2.46	1.51	ug/l	in situ
CLOROFILA fondo	2.56	3.04	4.42	4.41	1.97	ug/l	in situ
TURBIEDAD	6.13	4.89	4.48	3.72	4.57	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	67.0	60.0	65.0	61.0	69.0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	21.0	23.0	21.0	21.0	25.0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	711.0	706.0	708.0	706.0	713.0	microsiemens/ cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS							
pH	8.16	8.37	8.42	8.42	8.41		
ALCALINIDAD TOTAL	195.6	188.2	175.8	176.6	191.2	mg/l, CaCO ₃	
ALCALINIDAD F.	32.8	23.8	19.8	22.0	23.0	mg/l, CaCO ₃	
DUREZA TOTAL	175.0	183.8	185.0	174.6	157.0	mg/l, CaCO ₃	
Ca++	19.5	29.8	35.6	23.9	31.3	mg/l	
Mg++	30.7	26.5	23.3	27.9	19.1	mg/l	por cálculo
P.ORTOFOSFATOS DISUELTOS.	0.074	0.001	0.001	0.001	0.001	mg/l	como Fósforo
P.ORTOFOSFATOS TOTALES.	4.09	3.77	2.67	0.300	2.63	mg/l	como Fósforo
CLORUROS	31.3	31.8	31.9	31.0	31.4	mg/l	
N. AMONICAL	0.011	0.010	0.010	0.010	0.007	mg/l	
N. NITRITOS	49.40	46.97	46.57	47.78	47.78	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	1.428	1.760	1.511	1.601	1.570	mg/l	como Nitrógeno
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	2.31	2.64	2.63	2.74	4.71	mg/l	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	23.52				19.60	mg/l	
PARÁMETROS BIOLÓGICOS							
COLIFORMES TOTALES	5.40E+02	1.70E+02	4.60E+02	1.70E+02	2.80E+02	NMP/100ml	37°C. 24H
E. COLI	2.20E+01	1.40E+01	1.70E+01	1.70E+01	2.10E+01	NMP/100ML	37°C. 24H



Anexo 6.5

Ilustración 60 Resultados quinto monitoreo 24 - agosto - 2017.

LABORATORIO DE SANITARIA							
RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA							
Muestra procedencia:	Laguna parque infantil Marco Romero Heredia.- Cantón Azogues.- Provincia del Cañar						
Tipo de fuente:	Subterránea						
Fecha de toma:	24 de agosto de 2017						
Fecha de Análisis:	24 de agosto de 2017						
Análisis solicitado por:	Luis Ortega - Carolina Pesántez						
PARAMETROS	#1 Entrada	#2 Lado de la Isla	#3 Puente	#4 Muelle	#5 Salida	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS							
HORA	10:00	10:17	10:30	10:45	11:00	am	
TEMPERATURA superficie	18.63	18.49	18.62	18.99	18.73	°C.	in situ
TEMPERATURA medio	18.38	18.09	18.21	18.40	18.34	°C.	in situ
TEMPERATURA fondo	18.4	17.85	18.03	18.18	18.08	°C.	in situ
OXÍGENO superficie	10.8	11.51	11.87	11.52	11.74	mg/l	in situ
OXÍGENO medio	10.98	12.35	12.19	11.99	12.07	mg/l	in situ
OXÍGENO fondo	11.02	12.50	12.41	12.33	13.03	mg/l	in situ
CLOROFILA superficie	11.72	9.07	6.47	9.67	7.92	ug/l	in situ
CLOROFILA medio	12.62	10.56	8.16	12.12	11.82	ug/l	in situ
CLOROFILA fondo	13.51	15.36	15.02	18.54	16.83	ug/l	in situ
TURBIEDAD	8.95	9.19	7.97	7.85	8.70	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	75.0	78.0	78.0	78.0	82.0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	39.0	32.0	32.0	31.0	50.0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	734.0	712.0	710.0	711.0	709.0	microsiemens/ cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS							
pH	8.41	8.53	8.55	8.54	8.56		
ALCALINIDAD TOTAL	151.0	146.0	136.2	144.0	140.4	mg/l, CaCO ₃	
ALCALINIDAD F.	18.8	27.6	26.6	17.0	23.0	mg/l, CaCO ₃	
DUREZA TOTAL	179.0	158.2	152.4	150.2	151.2	mg/l, CaCO ₃	
Ca++	37.9	32.8	33.7	31.9	32.2	mg/l	
Mg++	20.5	18.5	16.6	17.1	17.2	mg/l	por cálculo
P.ORTOFOSFATOS DISUELTOS.	0.020	0.003	0.001	0.001	0.001	mg/l	como Fósforo
P.ORTOFOSFATOS TOTALES.	3.47	0.680	0.210	0.590	0.290	mg/l	como Fósforo
CLORUROS	41.9	37.0	36.6	37.4	38.0	mg/l	
N. AMONICAL	0.689	0.087	0.010	0.003	0.006	mg/l	
N. NITRITOS	121.30	63.13	55.5	52.23	51.42	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	1.421	0.913	0.792	0.796	0.751	mg/l	como Nitrógeno
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	7.32	8.86	6.25	6.22	6.18	mg/l	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	40.16				44.18	mg/l	
PARÁMETROS BIOLÓGICOS							
COLIFORMES TOTALES	1.60E+05	2.60E+02	1.10E+02	2.60E+02	7.90E+01	NMP/100ml	37°C. 24H
E. COLI	9.20E+04	4.90E+01	7.00E+01	7.90E+01	4.90E+01	NMP/100ML	37°C. 24H



Anexo 6.6

Ilustración 61 Resultados sexto monitoreo 30 - agosto - 2017.

LABORATORIO DE SANITARIA							
RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA							
Muestra procedencia:	Laguna parque infantil Marco Romero Heredia.- Cantón Azogues.- Provincia del Cañar						
Tipo de fuente:	Subterránea						
Fecha de toma:	30 de agosto de 2017						
Fecha de Análisis:	30 de agosto de 2017						
Análisis solicitado por:	Luis Ortega - Carolina Pesántez						
PARAMETROS	#1 Entrada	#2 Lado de la Isla	#3 Puente	#4 Muelle	#5 Salida	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS							
HORA	10:05	10:20	10:35	10:50	11:05	am	
TEMPERATURA superficie	17.54	17.70	17.69	17.81	18.01	°C.	in situ
TEMPERATURA medio	17.64	17.53	17.59	17.69	17.70	°C.	in situ
TEMPERATURA fondo	17.60	17.49	17.54	17.67	17.68	°C.	in situ
OXÍGENO superficie	12.29	13.11	13.19	12.81	12.65	mg/l	in situ
OXÍGENO medio	11.70	13.10	13.30	13.02	12.89	mg/l	in situ
OXÍGENO fondo	12.05	13.10	13.41	13.13	13.03	mg/l	in situ
CLOROFILA superficie	10.56	2.77	5.42	4.82	4.42	ug/l	in situ
CLOROFILA medio	10.63	5.93	9.64	8.02	9.5	ug/l	in situ
CLOROFILA fondo	13.39	11.66	10.23	11.37	10.67	ug/l	in situ
TURBIEDAD	7.41	8.19	8.05	7.95	7.90	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	32.0	29.0	28.0	31.0	32.0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	69.0	72.0	75.0	76.0	79.0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	727.0	722.0	721.0	724.0	727.0	microsiemens/ cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS							
pH	8.31	8.42	8.51	8.53	8.55		
ALCALINIDAD TOTAL	141.0	138.0	138.0	140.4	142.0	mg/l, CaCO ₃	
ALCALINIDAD F.	9.6	6.4	8.2	8.4	10.4	mg/l, CaCO ₃	
DUREZA TOTAL	163.0	142.2	141.0	162.0	163.2	mg/l, CaCO ₃	
Ca++	33.6	31.8	31.9	32.8	34.0	mg/l	
Mg++	19.2	15.2	14.9	19.4	19.0	mg/l	por cálculo
P.ORTOFOSFATOS DISUELTOS.	0.020	0.010	0.010	0.001	0.030	mg/l	como Fósforo
P.ORTOFOSFATOS TOTALES.	2.95	0.545	0.399	0.410	0.405	mg/l	como Fósforo
CLORUROS	39.0	36.0	36.2	38.0	41.0	mg/l	
N. AMONICAL	0.642	0.067	0.032	0.002	0.001	mg/l	
N. NITRITOS	115.20	73.21	66.13	60.23	60.25	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	1.212	0.916	0.844	0.790	0.642	mg/l	como Nitrógeno
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	5.38	6.43	4.65	3.87	5.96	mg/l	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	47.808				59.76	mg/l	
PARÁMETROS BIOLÓGICOS							
COLIFORMES TOTALES	7.00E+01	4.90E+01	1.10E+02	4.90E+01	7.00E+01	NMP/100ml	37°C. 24H
E. COLI	2.30E+01	3.30E+01	4.90E+01	4.90E+01	1.10E+01	NMP/100ML	37°C. 24H



Anexo 6.7

Ilustración 62 Resultados séptimo monitoreo 03 - enero - 2018.

LABORATORIO DE SANITARIA				
RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y MICROBIOLOGICO DE AGUA				
Muestra procedencia:	Laguna parque infantil Marco Romero Heredia.- Cantón Azogues.- Provincia del Azuay			
Tipo de fuente:	Subterránea			
Fecha de toma:	03 de enero de 2018			
Fecha de Análisis:	03 de enero de 2018			
Análisis solicitado por:	Luis Ortega - Carolina Pesántez			
PARAMETROS	# 1	# 2	UNIDAD	OBSERVACIONES
	ENTRADA	SALIDA		
PARÁMETROS FÍSICOS				
TEMPERATURA SUPERFICIE	20.68	20.43	°C.	in situ
TEMPERATURA MEDIO	20.62	20.31	°C.	in situ
TEMPERATURA FONDO	20.64	20.22	°C.	in situ
OXÍGENO SUPERFICIE	9.84	10.11	mg/l	in situ
OXÍGENO MEDIO	10.0	10.45	mg/l	in situ
OXÍGENO FONDO	10.73	10.71	mg/l	in situ
CLOROFILA SUPERFICIE	5.37	13.52	ug/l	in situ
CLOROFILA MEDIO	5.86	15.62	ug/l	in situ
CLOROFILA FONDO	6.23	20.18	ug/l	in situ
TURBIEDAD	2.83	3.58	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	55.0	57.0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	35.0	30.0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	528.0	494.0	microsiemens/ cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS				
pH	8.50	8.90		
ALCALINIDAD TOTAL	117.2	103.4	mg/l, CaCO ₃	
ALCALINIDAD F.	11.2	14.6	mg/l, CaCO ₃	
DUREZA TOTAL	153.8	146.2	mg/l, CaCO ₃	
Ca++	41.0	38.3	mg/l	
Mg++	12.4	12.2	mg/l	por cálculo
HIERRO TOTAL	0.06	0.04	mg/l	
ALUMINIO	0.009	0.030	mg/l	
CROMO	0.009	0.010	mg/l	
ZINC	0.023	0.045	mg/l	
NIQUEL	0.017	0.029	mg/l	
COBRE	0.01	0.0	mg/l	
SILICIO	0.80	1.01	mg/l	
TANINOS Y LIGNINAS	1.50	1.40	mg/l	
P.ORTOFOSFATOS DISUELTOS.	0.012	0.006	mg/l	como Fósforo
P.ORTOFOSFATOS TOTALES.	5.010	0.189	mg/l	como Fósforo
CLORUROS	26.8	25.0	mg/l	
SULFATOS	110.68	113.03	mg/l	
N. NITRITOS	125.80	149.20	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	0.291	0.370	mg/l	como Nitrógeno
N. AMONIACAL	0.010	0.010	mg/l	como Nitrógeno
SOLIDOS TOTALES	376.0	340.0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	286.0	275.0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	90.0	65.0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	7.0	7.0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	1.0	2.0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	6.0	5.0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	369.0	333.0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	285.0	273.0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	84.0	60.0	mg/l	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	3.050	1.170	mg/l	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	22.70	30.27	mg/l	
PARÁMETROS BIOLÓGICOS				
COLIFORMES TOTALES	2.80E+02	1.50E+02	NMP/100ml	37°C. 24H
E. COLI	2.10E+01	1.70E+01	NMP/100ML	37°C. 24H



Anexo 6.8

Ilustración 63 Resultados análisis de sedimento encontrado.

LABORATORIO DE SANITARIA		
ANALISIS DE LODOS OBTENIDOS EN LA LAGUNA DEL PARQUE RECREACIONAL MARCO ROMERO HEREDIA		
Muestra procedencia:	Laguna parque infantil Marco Romero Heredia.- Cantón Azogues.- Provincia del Cañar	
Tipo de fuente:	Lodos	
Fecha de toma:	9 de noviembre de 2017	
Fecha de Análisis:	9 de noviembre de 2017	
Análisis solicitado por:	Luis Ortega - Carolina Pesántez	
	MUESTRA 1.	MUESTRA 2.
	LODO VERDE	LODO NEGRO
PORCENTAJE DE SÓLIDOS	22.43	11.9
PORCENTAJE DE AGUA	77.57	88.1
ANALISIS DE SOLIDOS		
% SOLIDOS INORGANICOS	83.76	82.31
% SOLIDOS ORGANICOS	16.24	17.69
ANALISIS DE SOLIDOS INORGANICOS		
% DE RESIDUO A 850°C.	67.07	67.62
% DE RESIDUO ELIMINADO A 850°C.	32.93	32.38



Anexo 6.9

Ilustración 64 Resultados agua cruda a la llegada de la laguna 09 - noviembre - 2017.

LABORATORIO DE SANITARIA			
RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y MICROBIOLOGICO DE AGUA			
Muestra procedencia:	Laguna parque infantil Marco Romero Heredia.-		
	Cantón Azogues.- Provincia del Cañar		
Tipo de fuente:	Subterránea		
Fecha de toma:	9 de noviembre de 2017		
Fecha de Análisis:	9 de noviembre de 2017		
Análisis solicitado por:	Luis Ortega - Carolina Pesántez		
PARAMETROS	Agua Subterranea	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS			
TEMPERATURA		°C.	in situ
TURBIEDAD	0.924	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	21.0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	18.0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	1194.0	microsiemens/ cm	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	788.0	mg/l	por cálculo
PARÁMETROS QUÍMICOS			
pH	8.80		
ALCALINIDAD TOTAL	123.6	mg/l, CaCO ₃	
ALCALINIDAD F.	82.4	mg/l, CaCO ₃	
DUREZA TOTAL	166.4	mg/l, CaCO ₃	
Ca ⁺⁺	17.8	mg/l	
Mg ⁺⁺	29.6	mg/l	por cálculo
HIERRO TOTAL	0.02	mg/l	
MANGANESO	0.1	mg/l	
COBRE	0.10	mg/l	
SILICIO	0.88	mg/l	
TANINOS Y LIGNINAS	1.0	mg/l	
P.ORTOFOSFATOS DISUELTOS.	0.02	mg/l	como Fósforo
CLORUROS	42.4	mg/l	
SULFATOS	51.44	mg/l	
N. NITRITOS	0.530	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	3.326	mg/l	como Nitrógeno
PARÁMETROS BIOLÓGICOS			
RECuento EN PLACA	280.0	U.F.C./ml	37°C. 24H
PSEUDOMONA AERUGINOSA	90.0	U.F.C./100ml	42°C. 24H
MOHOS Y LEVADURAS	75.0	U.F.C./100ml	35,5°C. 48H
COLIFORMES TOTALES	1.60E+04	NMP/100ml	37°C. 24H
E. COLI	9.20E+03	NMP/100ML	37°C. 24H



Anexo 6.10

Ilustración 65 Resultados análisis bacteriológico de agua cruda a la salida de la verriente y agua cruda a la llegada a la laguna 03 - enero - 2018.

LABORATORIO DE SANITARIA				
RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLOGICO DE AGUA				
Muestra procedencia:	Laguna parque infantil Marco Romero Heredia.- Cantón Azogues.- Provincia del Azuay			
Tipo de fuente:	Subterránea			
Fecha de toma:	03 de enero de 2018			
Fecha de Análisis:	03 de enero de 2018			
Análisis solicitado por:	Luis Ortega - Carolina Pesántez			
PARAMETROS	# 1 Salida del ojo de agua	# 2 Llegada a la laguna	UNIDAD	OBSERVACIONES
	Agua Subterránea	Agua Subterránea		
PARÁMETROS BIOLÓGICOS				
COLIFORMES TOTALES	9.20E+02	4.30E+03	NMP/100ml	37°C. 24H
E. COLI	2.20E+02	1.40E+03	NMP/100ML	37°C. 24H



Anexo 7. Imágenes de llenado de la laguna luego del mantenimiento brindado.



Fotografía 26 Llenado de la laguna únicamente con el caudal de ingreso de la vertiente.



Fotografía 27 Canal de vaciado totalmente limpio, sin material obstruyente.



Fotografía 28 Drenaje de fondo para el funcionamiento de las piletas.



Universidad de Cuenca



Fotografía 29 Ingreso de agua de la vertiente hacia la laguna.



Anexo 8. Imágenes de la conducción del ojo de agua hacia la tubería que llega a la laguna.



Fotografía 30 Tubería de la vertiente junto a la tubería que lleva el agua hacia la laguna.



Fotografía 31 Pozo de revisión cubierto con malla electrosoldada, expuesta a la interperie.



Anexo 9. Porcentajes acumulados para la obtención de la curva granulométrica con el método del hidrómetro.

Tabla 54 Correcciones por hidrómetro.

Corrección por temperatura	Corrección por menisco	Corrección por defloculante
(g/l)	(g/l)	(g/l)
0.06	0.868	3

Tabla 55 Porcentajes acumulados para la obtención de la curva granulométrica mediante el hidrómetro.

Tiempo	Lectura hidrómetro	Lectura hidrómetro corregida	Temperatura	Profundidad efectiva	Diámetro de las partículas	% de suelo en suspensión
(min)	(g/l)	(g/l)	°C	(mm)	(mm)	(%)
1	27	30.928	20.2	112	0.051	67%
2	23.5	27.428	20.2	119	0.037	59%
5	19	22.928	20.2	125	0.024	50%
15	13	16.928	20.2	135	0.014	37%
30	9	12.928	20.2	142	0.010	28%
60	6.5	10.428	20.2	147	0.008	23%
120	5	8.928	20.2	148	0.005	19%
240	4	7.928	20.2	150	0.004	17%
1440	4	7.928	17.5	150	0.002	17%



Anexo 10. Hoja de cálculo del oxígeno de saturación.

CONCENTRACION DE OXIGENO DISUELTO EN AGUA EN FUNCION DE PRESION Y TEMPERATURA, mg./l.																	
ALTITUD METRO	TEMPERATURA DEL AGUA (PURA)																
	0 °	4 °	6 °	8 °	10 °	12 °	14 °	16 °	18 °	20 °	22 °	24 °	26 °	28 °	30 °	32 °	
0	14.65	13.86	13.13	12.46	11.84	11.27	10.75	10.26	9.82	9.4	9.02	8.67	8.33	8.02	7.72	7.44	7.16
100	14.47	13.69	12.97	12.31	11.69	11.13	10.61	10.13	9.69	9.28	8.91	8.56	8.23	7.92	7.62	7.34	7.07
200	14.29	13.52	12.81	12.15	11.55	10.99	10.48	10	9.57	9.17	8.79	8.45	8.12	7.82	7.53	7.25	6.97
300	14.11	13.35	12.65	12	11.4	10.85	10.34	9.88	9.45	9.05	8.68	8.34	8.02	7.72	7.43	7.15	6.88
400	13.93	13.18	12.49	11.83	11.26	10.72	10.21	9.75	9.33	8.94	8.57	8.23	7.92	7.62	7.33	7.06	6.79
500	13.76	13.02	12.33	11.7	11.12	10.58	10.09	9.63	9.21	8.82	8.46	8.13	7.81	7.52	7.24	6.97	6.7
600	13.59	12.85	12.18	11.55	10.98	10.45	9.96	9.51	9.09	8.71	8.35	8.02	7.71	7.42	7.14	6.88	6.72
700	13.42	12.69	12.03	11.41	10.84	10.32	9.83	9.39	8.98	8.6	8.25	7.92	7.62	7.33	7.05	6.79	6.53
800	13.25	12.54	11.87	11.27	10.7	10.19	9.71	9.27	8.87	8.49	8.14	7.82	7.52	7.25	6.96	6.7	6.44
900	13.08	12.38	11.73	11.12	10.57	10.06	9.59	9.15	8.75	8.38	8.04	7.72	7.42	7.14	6.87	6.61	6.36
1000	12.92	12.22	11.58	10.98	10.44	9.93	9.47	9.04	8.64	8.28	7.94	7.63	7.33	7.05	6.78	6.53	6.28
1100	12.76	12.07	11.43	10.85	10.31	9.81	9.35	8.92	8.53	8.17	7.84	7.52	7.23	6.96	6.69	6.44	6.19
1200	12.6	11.92	11.29	10.71	10.18	9.68	9.23	8.81	8.42	8.07	7.74	7.43	7.14	6.87	6.61	6.36	6.11
1300	12.44	11.77	11.15	10.58	10.05	9.56	9.11	8.7	8.32	7.95	7.64	7.33	7.05	6.78	6.52	6.27	6.03
1400	12.29	11.62	11.01	10.44	9.92	9.44	9	8.59	8.21	7.86	7.54	7.24	6.96	6.69	6.44	6.19	5.95
1500	12.13	11.48	10.87	10.31	9.8	9.32	8.88	8.48	8.11	7.76	7.44	7.15	6.87	6.6	6.35	6.11	5.88
1600	11.96	11.33	10.74	10.18	9.67	9.2	8.77	8.37	8	7.66	7.35	7.05	6.78	6.52	6.27	6.03	5.8
1700	11.83	11.19	10.6	10.06	9.55	9.09	8.66	8.27	7.9	7.57	7.25	6.96	6.69	6.43	6.19	5.95	5.72
1800	11.68	11.05	10.47	9.93	9.43	8.97	8.55	8.16	7.8	7.47	7.16	6.87	6.61	6.35	6.11	5.87	5.65
1900	11.54	10.91	10.34	9.8	9.31	8.86	8.44	8.06	7.7	7.38	7.07	6.79	6.52	6.27	6.03	5.8	5.57
2000	11.39	10.78	10.21	9.68	9.2	8.75	8.34	7.96	7.61	7.28	6.98	6.7	6.44	6.19	5.95	5.72	5.5
2100	11.25	10.64	10.08	9.56	9.08	8.64	8.23	7.85	7.51	7.19	6.89	6.61	6.35	6.11	5.87	5.65	5.43
2200	11.11	10.51	9.95	9.44	8.97	8.53	8.13	7.76	7.41	7.1	6.8	6.53	6.27	6.03	5.8	5.57	5.35
2300	10.97	10.38	9.83	9.32	8.85	8.42	8.02	7.66	7.32	7.01	6.72	6.44	6.19	5.95	5.72	5.5	5.28
2400	10.83	10.25	9.7	9.2	8.74	8.32	7.92	7.56	7.23	6.92	6.63	6.36	6.11	5.87	5.65	5.43	5.21
2500	10.7	10.12	9.58	9.09	8.63	8.21	7.82	7.47	7.13	6.83	6.54	6.28	6.03	5.8	5.57	5.36	5.14
2600	10.56	9.99	9.46	8.97	8.52	8.11	7.72	7.37	7.04	6.74	6.46	6.2	5.95	5.72	5.5	5.28	5.08
2700	10.43	9.87	9.34	8.86	8.42	8	7.63	7.28	6.95	6.66	6.38	6.12	5.88	5.65	5.43	5.22	5.01
2800	10.3	9.74	9.23	8.75	8.31	7.9	7.53	7.18	6.87	6.57	6.3	6.04	5.8	5.57	5.36	5.15	4.94
2900	10.17	9.62	9.11	8.64	8.2	7.8	7.43	7.09	6.78	6.49	6.22	5.96	5.72	5.5	5.29	5.08	4.88
3000	10.04	9.5	9	8.53	8.1	7.71	7.34	7	6.69	6.4	6.14	5.89	5.65	5.43	5.22	5.01	4.81
3100	9.92	9.38	8.88	8.42	8	7.61	7.25	6.91	6.61	6.32	6.06	5.81	5.58	5.36	5.15	4.95	4.75
3200	9.79	9.26	8.77	8.32	7.9	7.51	7.16	6.83	6.52	6.24	5.98	5.73	5.5	5.29	5.08	4.88	4.68
3300	9.67	9.15	8.66	8.21	7.8	7.42	7.06	6.74	6.44	6.18	5.9	5.66	5.43	5.22	5.01	4.82	4.62
3400	9.55	9.03	8.55	8.11	7.7	7.32	6.97	6.65	6.36	6.08	5.83	5.59	5.36	5.15	4.95	4.75	4.56
3500	9.43	8.92	8.44	8.01	7.6	7.23	6.89	6.57	6.28	6	5.75	5.52	5.29	5.08	4.88	4.69	4.5
3600	9.31	8.81	8.34	7.91	7.51	7.14	6.8	6.49	6.2	5.93	5.68	5.44	5.22	5.02	4.82	4.63	4.44
3700	9.2	8.7	8.23	7.81	7.41	7.05	6.71	6.4	6.12	5.85	5.6	5.37	5.16	4.95	4.75	4.56	4.38
3800	9.08	8.59	8.13	7.71	7.32	6.96	6.63	6.32	6.04	5.78	5.53	5.3	5.09	4.89	4.69	4.5	4.32
3900	8.97	8.48	8.03	7.61	7.23	6.87	6.54	6.24	5.9	5.7	5.46	5.23	5.02	4.82	4.63	4.44	4.26